



Examensarbete  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem

# Fordonsgas från deponier

– en potentialstudie i Biogas Öst-regionen

*Vehicle fuel from landfill gas*  
*– a study of the potential in the region of Biogas Öst*

Jessica Willén



SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik

Jessica Willén

Fordonsgas från deponier - en potentialstudie i Biogas Öst-regionen  
Vehicle fuel from landfill gas - a study of the potential in the region of Biogas Öst

Handledare: Tomas Wadström, Energikontoret i Mälardalen/ Biogas Öst  
Ämnesgranskare: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU  
Examinator: Tord Johansson, institutionen för energi och teknik, SLU  
EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad E, teknik  
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)  
ISSN 1654-9392  
2010:03

Uppsala 2010

Nyckelord: Biogas, deponi, fordonsgas, gasutvinning, organiskt avfall, uppgradering



## **Abstract**

The demand for biogas as vehicle fuel has risen sharply and there is a great need for increased production. A possible addition of vehicle gas can be produced by upgrading landfill gas which is formed by degradation of organic waste. This thesis investigates the potential of producing vehicle fuel from landfill gas in the region of *Biogas Öst*.

In 2008, an amount of 32 million Nm<sup>3</sup> landfill gas was extracted in the region. This level can be maintained for another ten years if the efficiency of gas extraction is improved. The annual production will decrease with time since landfills aren't allowed to receive more organic waste. Landfill gas is hence a large but not lasting source of vehicle fuel.

The amount of available landfill gas that is possible to upgrade to vehicle gas is limited by technical and financial issues. With certain limitations taken into account, an estimation of the regions potential gives an annual production of 8.2 million Nm<sup>3</sup> vehicle gas. This means that more than 7 000 private cars or 250 buses could be operated with vehicle fuel from landfills in the region.



## Sammanfattning

Biogas som fordonsbränsle har många fördelar, såväl miljömässiga som ekonomiska. Sedan biogas började säljas som fordonsgas i Sverige 1996 har antalet gasdrivna fordon och efterfrågan på fordonsgas ökat kraftigt. Tillgången på fordonsgas från biogas har inte utvecklats i samma takt och detta har resulterat i ett stort behov av ökad produktion. Under en utbyggnadsperiod skulle deponier kunna utgöra en källa för ett tillskott av biogas i form av deponigas. I Sverige har deponigas hittills inte använts för produktion av fordonsbränsle men utomlands praktiseras det på flera håll.

När organiskt avfall bryts ned i deponier bildas metangas och koldioxid. Deponigasen kan utvinnas genom att perforerade rör trycks ned i avfallsupplaget och kopplas till fläktar som skapar ett undertryck i deponin. Luft läcker ofta in i deponin vilket gör att utvunnen deponigas då innehåller en stor andel kväve. För att uppnå en metanhalt på 97 % som är standard för fordonsgas så måste koldioxid och kväve avskiljas, en process känd som uppgradering. I denna rapport undersöks potentialen för uppgradering av deponigas i Biogas Öst-regionen. Genom studier av pågående uppgradering utomlands har förslag framtagits för hur potentialen i den studerade regionen kan utnyttjas.

Avfallsanläggningarna med gasutvinning i Biogas Öst-regionen samlade totalt in ca 32 miljoner  $\text{Nm}^3$  deponigas år 2008. Om utvinningssystemen byggs ut och uttorkning av deponierna undviks då de sluttäcks kan utvinningen fortsätta på nuvarande nivå i tio år framåt. Den årliga produktionen av metangas avtar eftersom organiskt avfall inte längre får deponeras. Deponigas utgör därför ingen långsiktig källa till fordonsgas.

För att uppgradering av deponigas vid en avfallsanläggning ska vara ekonomiskt intressant måste gasutvinningen från den enskilda deponin vara tillräckligt stor. Det är svårt att fastställa en generell gräns för *hur* stor den bör vara men det antas att en gasutvinning mindre än 2 miljoner  $\text{Nm}^3$  utgör en ekonomisk begränsning för potentiell uppgradering. Med denna utgångspunkt är sju deponier i Biogas Öst-regionen intressanta källor för fordonsgas. Från dem utvanns totalt 25,5 miljoner  $\text{Nm}^3$  deponigas år 2008. Med hänsyn till vissa tekniska begränsningar motsvarar det en potentiell produktion av fordonsgas på 12,2 miljoner  $\text{Nm}^3/\text{år}$ .

Intervjuer med driftansvariga för regionens deponier har visat två fall av långtgående planer på att uppgradera deponigas och att produktionen kan påbörjas redan under 2011. I båda fallen är valet av uppgraderingsmetod troligtvis kryoteknik. Avfallsanläggningarnas lokala förutsättningar är avgörande för om ett uppgraderingsprojekt ska vara intressant. Till exempel är det mindre troligt att deponigasen kommer att uppgraderas om den i dagsläget säljs för fjärrvärmeproduktion än om den används för intern kraftvärmeproduktion.

I Biogas Öst-regionen finns fem avfallsanläggningar där gasutvinningen är tillräcklig för att uppgradering ska vara intressant och där det dessutom kan vara intressant att förändra den nuvarande användningen av deponigas. Tillsammans har de potential för en produktion av fordonsgas på 8,2 miljoner  $\text{Nm}^3/\text{år}$ . Det innebär att över 7 000 personbilar eller 250 bussar kan drivas med fordonsgas från deponier i Biogas Öst-regionen.

En möjlighet till att underlätta för utnyttjandet av regionens potential skulle kunna vara att uppgradera deponigas till en lägre metanhalt än standarden för fordonsgas på 97 %. Ett lägre krav på kväveavskiljning skulle minska metanförluster och kostnad för uppgradering. Tekniskt sett är det möjligt att driva fordon på en gas med metanhalt så låg som 50 %. Det finns dock argument som talar för att det är olämpligt att frångå svensk standard vid publika tankställen. Däremot kan det vara fördelaktigt att uppgradera deponigasen till fordonsgas med lägre metanhalt om den bara används till en lokal bussflotta eller för att driva sopbilarna som samlar in avfall till anläggningen.

Med en förändrad metod för gasutvinning som minimerar inläckage av luft möjliggörs en billigare uppgradering. Exempel från Island och USA visar att det är möjligt att uppgradera deponigas utan kväveavskiljning. Om gasutvinningen sker med lägre undertryck i deponin kan inläckage av luft (och därmed kväve) undvikas. Då riskeras dock att mer metan från deponin läcker ut till atmosfären. De negativa miljöeffekterna av detta måste vägas mot fördelarna av att kunna ersätta fossila bränslen i transportsektorn med fordonsgas från deponier. Undersökningen har visat att metoden för hur gasen utvinns från deponin på flera sätt är en nyckel till potential för produktion av fordonsgas och det är därför en intressant aspekt som bör studeras närmare.



## Förord

Följande rapport är resultatet av ett examensarbete som avslutar min civilingenjörsutbildning i Energisystem vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Examensarbetet utfördes under våren 2010 på uppdrag av Energikontoret i Mälardalen AB inom samverkansprojektet Biogas Öst. Rapporten är faktagranskad av Johan Benjaminsson och Nina Johansson på Grontmij AB.

Till att börja med vill jag tacka alla som jag varit i kontakt med i undersökningen och som har bidragit med sin tid och kunskap. Åke Nordberg på SLU har haft rollen som ämnesgranskare och jag är mycket tacksam för hans värdefulla tips under hela arbetets gång.

Jag vill varmt tacka Beatrice Torgnyson Klemme för inspiration och feedback på rapporten. Jag vill även tacka Jonas Forsberg och Martin Ahrne på Energikontoret i Mälardalen för vägledning i diverse deponi- och kemifrågor.

Sist men inte minst vill jag tacka Tomas Wadström på Biogas Öst som ställt upp som handledare och var den som gav mig möjligheten att göra examensarbetet.



Jessica Willén

Uppsala, juni 2010

## Definitioner

**Absorption;** process där ett ämne *upptas* av ett annat genom att det löser sig i det (fysikalisk absorption) eller genom en kemisk reaktion (kemisk absorption).

**Adsorption;** process där ett ämne *binds till ytan* på ett annat på grund av attraktionskrafter mellan molekylerna (fysikalisk adsorption) eller genom bildandet av kemiska bindningar (kemisk adsorption).

**Deponigas;** gas främst bestående av metan och koldioxid som bildas när organiskt material bryts ned i en deponi. Om luft läcker in vid utvinning av deponigasen får den även ett innehåll av syre och kväve.

**Fackling;** förbränning av gas i syfte att minska utsläpp av metan som är en kraftig växthusgas. Ingen energiutvinning görs vid fackling.

**Flakning;** transport av komprimerad eller flytande gas i tuber på lastbil eller tåg.

**Fordonsgas;** samlingsnamn för biogas och naturgas som drivmedel till fordon.

**Normalkubikmeter (Nm<sup>3</sup>);** enhet för gasvolym vid atmosfärstryck och temperaturen 0°C.

**Restgas;** gaskomponenter som avskiljs från rågasen vid rening och uppgradering.

**Rågas;** obehandlad biogas från till exempel rötammare eller deponi.

**Rötgas;** Biogas som produceras i rötammare.

**Uppgradering;** Process där koldioxid och kväve avskiljs från biogas för att höja metanhalten och uppnå en högre energidensitet.

## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Uppdragsgivare .....	1
1.2 Bakgrund.....	2
1.3 Syfte och mål.....	5
1.4 Metod och avgränsning.....	5
2 Från deponi till fordonsgas.....	6
2.1 Utvinning av deponigas .....	6
2.2 Ursprunglig gaskvalité.....	8
2.3 Kvalitetskrav på fordonsgas.....	9
3 Reningstekniker.....	10
3.1 Svavelväte.....	11
3.1.1 Adsorption på aktivt kol.....	11
3.1.2 Kemisk adsorption med metalloxid.....	11
3.2 Vatten och partiklar.....	12
3.3 Siloxaner.....	12
3.4 Halogenerade kolväten.....	12
4 Uppgraderingstekniker.....	13
4.1 Koldioxidavskiljning.....	13
4.1.1 Absorption med vattenskrubberteknik .....	13
4.1.2 Kemisk absorption.....	14
4.1.3 Membranteknik.....	14
4.2 Kväveavskiljning.....	16
4.2.1 Pressure Swing Adsorption.....	16
4.2.2 Kryoteknik.....	17
5 Systemlösningar utan kväveavskiljning.....	20
5.1 Uppgradering med vattenskrubber på Island .....	20
5.2 Uppgradering i USA.....	22
6 Tillgänglig deponigas i regionen.....	23
7 Kriterier för potentiell produktion av fordonsgas.....	26
7.1 Tillräckligt gasflöde.....	26
7.2 Avsättningsmöjlighet.....	27
7.3 Lokala förutsättningar.....	29

8 Potential för enskilda avfallsanläggningar.....	31
8.1 Högbytorp.....	31
8.2 Koviks avfallsanläggning.....	32
8.3 Gryta avfallsanläggning.....	33
8.4 Atleverkets avfallsanläggning.....	34
8.5 Sofielunds Återvinningsanläggning.....	35
8.6 Lilla Nyby Återvinningscentral.....	35
8.7 Tveta Återvinningsanläggning.....	36
8.8 Häradsuddens avfallsanläggning.....	37
9 Prognos för metanproduktion.....	39
9.1 Val av metod.....	39
9.2 IPCC-modellens utgångspunkt.....	39
9.3 Parametervärden och indata.....	40
9.4 Resultat.....	41
9.5 Utvärdering av IPCC-modellen.....	42
10 Diskussion.....	45
10.1 Enskild eller gemensam uppgradering.....	45
10.2 Tillgänglig deponigas.....	46
10.2.1 Teknisk potential för uppgradering.....	46
10.2.2 Ekonomiska begränsningar.....	47
10.3 Möjligheter till utnyttjande av potentialen.....	48
10.3.1 Förändrad utvinningsmetod.....	48
10.3.2 Fordonsgas med lägre metanhalt.....	49
10.3.3 Mobila uppgraderingsanläggningar.....	50
10.4 Förslag på fortsatta studier.....	51
11 Slutsatser och rekommendationer.....	52
12 Referenser.....	54
12.1 Skriftliga källor.....	54
12.2 Muntliga källor.....	56

## Figurförteckning

Figur 1: Biogas Öst-regionen (Biogas Öst 2010) .....	1
Figur 2: Biogasbil i motorsportserien STCC (Foto: Bioenergiportalen.se).....	2
Figur 3: Utveckling av antal gasfordon i Sverige. ....	3
Figur 4: Försäljning av fordonsgas i Sverige 1995-2009.....	3
Figur 5: Produktion av fordonsgas från biogas och beräknad efterfrågan år 2009 .....	4
Figur 6: Principskiss över fordonsgas från en deponi.....	6
Figur 7: Utvinningssystem för deponigas (Tekniska förvaltningen Örebro, 2000).....	7
Figur 8: Flödesschema för vattenskrubber (Biogas Syd 2008) .....	13
Figur 9: Olika gasers förmåga att tränga igenom ett membran .....	14
Figur 10: Principskiss för membranseparering med MEDAL <sup>TM</sup> .....	15
Figur 11: Översiktligt flödesschema för PSA (Biogas Syd 2008) .....	16
Figur 12: Fasdiagram för koldioxid (Shakhashiri 2008).....	18
Figur 14: Uppgraderingssystem med kryoteknik från Scandinavian GtS.....	19
Figur 13: Principskiss över destillationskolonn för kryogen uppgradering .....	19
Figur 15: Deponin Álfnsnes vid Reykjavik .....	20
Figur 16: Ventiler som styr trycket i gasbrunnar på deponin vid Álfnsnes.....	21
Figur 17: Lokalisering av deponier med gasutvinning i regionen.....	23
Figur 18: Användning av deponigas i Biogas Öst-regionen 2008.....	24
Figur 19: Lokalisering av deponier (grön markering) och tankställen för fordonsgas .....	28
Figur 20: Transport av fordonsgas med flakning. (Foto: Nils-Olof Sjöden).....	29
Figur 21: Områdesindelning av Högbytorps avfallsanläggning (Ragn-Sells Avfallsbehandling 2009) .....	31
Figur 22: Atleverkets avfallsanläggning (Tekniska förvaltningen Örebro kommun, 2010) .	34
Figur 23: Tveta Återvinningsanläggning (Telge Återvinning 2009).....	37
Figur 24: Uppskattad gaspotential vid Atleverket .....	42
Figur 25: Jämförelse mellan uppmätt och modellerad metanproduktion (Börjesson et al. 2009).....	43

## Tabellförteckning

Tabell 1: Analysresultat av gas från ett antal deponier.....	8
Tabell 2: Utdrag ur Svensk Standard SS 15 54 38 för biogas som bränsle till magermotorer	9
Tabell 3: Sammanställning av komponenter i deponigas, varför och hur de tas bort.....	10
Tabell 4: Kokpunkt vid atmosfärstryck.....	17
Tabell 5: Resultat från kartläggning av utvunnen deponigas och dess användning år 2008.	24
Tabell 6: Regionens deponigasproduktion år 2008 .....	25
Tabell 7: Riktvärden för minsta deponigasflöde som är intressant att uppgradera .....	27
Tabell 8: Andel löst organiskt kol (DOC) i olika avfallsfraktioner.....	40
Tabell 9: Ingående parametervärden.....	40
Tabell 10: Jämförelse mellan uppmätt och modellerad metanproduktion (Adolfsson, Rolf 2005) .....	43
Tabell 11: Halveringstidens inverkan på resultatet.....	44
Tabell 12: Uppskattning av teknisk potential för uppgradering .....	46
Tabell 13: Sammanfattade uppskattning av regionens potential .....	52

# 1 Inledning

I detta kapitel ges en introduktion till examensarbetets bakgrund och frågeställning. Syftet med undersökningen och metoden som använts för att uppnå de utsatta målen beskrivs. Inledningsvis presenteras uppdragsgivarna för undersökningen.

## 1.1 Uppdragsgivare

Examensarbetet har utförts på uppdrag av Energikontoret i Mälardalen AB, inom samverkansprojektet *Biogas Öst*. Deltagarna i Biogas Öst utgörs av ett 40-tal aktörer, både offentliga och privata, som tillsammans täcker in hela biogaskedjan. Samverkansprojektet syftar till att främja produktion, distribution och konsumtion av biogas. Genom att driva utvecklingsprojekt, samordna resurser och kompetens verkar Biogas Öst för att nå gemensamma mål som att biogas ska stå för minst 10 % av drivmedlen i regionen år 2020. Med regionen menas Uppsala, Stockholms, Västmanland, Södermanland, Örebro och Östergötlands län, se figur 1.



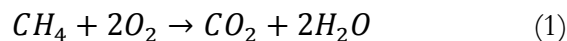
Figur 1: Biogas Öst-regionen (Biogas Öst 2010)

## 1.2 Bakgrund

Det finns mycket att vinna vid användning av biogas som drivmedel, både ekonomiskt och miljömässigt. Biogas är en förnyelsebar och inhemsk energikälla som minskar beroendet av oljeimport och bidrar till en tryggare energiförsörjning. Att tillvarata organiskt avfall för biogasproduktion bidrar till en resurseffektiv avfallshantering och ett hållbart samhälle.

Resultatet av en omfattande livscykelanalys för olika drivmedel utförd vid Lunds Tekniska Högskola visar att biogas från organiskt hushållsavfall ger en reduktion av växthusgaser på 103 % jämfört med fossila drivmedel.<sup>1</sup> Att reduktionen kan bli mer än 100 % beror på att omhändertagande av organiskt avfall för biogasproduktion minskar läckaget av metangas till atmosfären som avfallet annars skulle ge upphov till.

När ren metan förbränns bildas koldioxid och vatten, se ekvation (1). Den då bildade koldioxiden härstammar från atmosfärisk koldioxid som bundits i det organiska materialet genom fotosyntesen, och skulle ha frigjorts igen då materialet förmultnat. Biogasen är alltså ett koldioxidneutralt bränsle eftersom det inte ger upphov till något nettoutsläpp av koldioxid.



Biogas som fordonsbränsle ger försumbara utsläpp av kolmonoxid, kolväten, svavelföreningar, kväveoxider och tungmetaller och i jämförelse med andra bränslen ger det lägst koldioxid- och partikelutsläpp.<sup>2</sup> En biogasbil behöver inte heller ha sämre motorprestanda än en vanlig bensinbil. Motoreffekten för en personbil som drivs av biogas är likvärdig med bensindrif.<sup>3</sup> Vinnaren i Swedish Touring Car Championship (STCC) 22 maj 2010 var just en biogasbil, se figur 2.



Figur 2: Biogasbil i motorsportserien STCC (Foto: Bioenergiportalen.se)

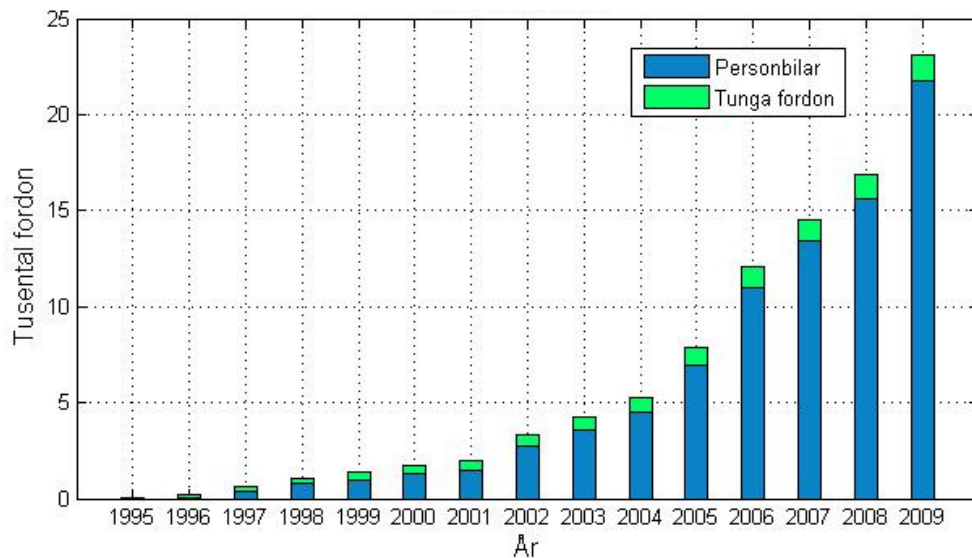
<sup>1</sup> Börjesson, Pål, Tufvesson, Linda & Lantz, Mikael (2010)

<sup>2</sup> Held et al. (2008)

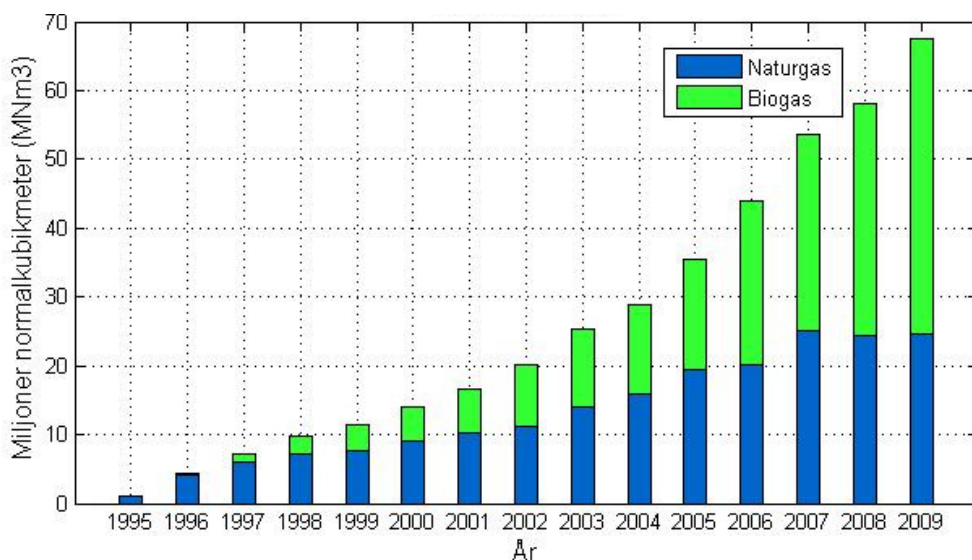
<sup>3</sup> *Så fungerar en gasbil*. Miljöfordon.se (2009)



Utöver de miljömässiga fördelarna är det i dagsläget också ekonomiskt fördelaktigt att välja biogas som drivmedel. Bränslekostnaden per mil är lägre än för konventionella drivmedel och en eventuell högre inköpskostnad av gasfordon återbetalas under fordonets tekniska livslängd.<sup>4</sup> Dessutom har ett antal ekonomiska styrmedel införts för att främja miljöbilar. Exempelvis har biogasbilar lägre förmånsbeskattning, befrielse från fordonsskatt i fem år, befrielse från trängselavgift i Stockholm och gratis parkering i många kommuner. Att fler och fler upptäcker de miljömässiga och ekonomiska fördelarna med biogas som fordonsbränsle ses tydligt i det ökade antalet gasdrivna fordon och försäljningen av fordonsgas som redovisas i figur 3 och 4 nedan.



Figur 3: Utveckling av antal gasfordon i Sverige.<sup>5</sup>

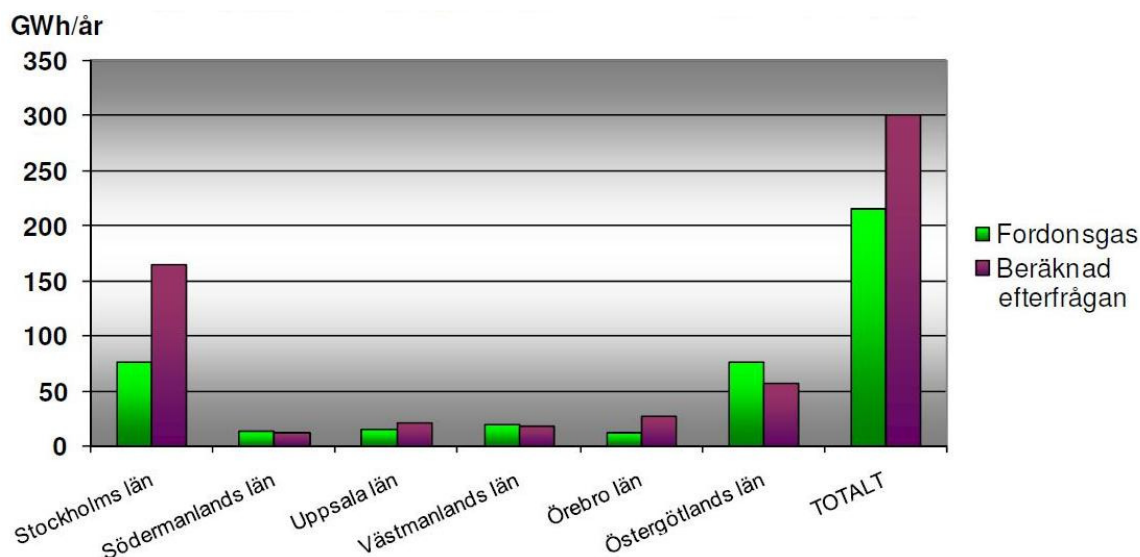


Figur 4: Försäljning av fordonsgas i Sverige 1995-2009.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Persson et al. (2007)

<sup>5</sup> *Fordonsgasutvecklingen i Sverige*. Energigas Sverige, 2010

Utbyggnaden av biogasproduktionen har inte hängtt med i utvecklingen av efterfrågan på fordonsgas. Det har resulterat i ett glapp mellan tillgång och efterfrågan (se figur 5) och därmed ett stort behov av ökad produktion av fordonsgas. Enligt en utredning som nyligen är utförd av Biogas Öst och Sweco (*Utbud och Efterfrågan på Fordonsgas i Biogas Öst Regionen*) kommer även framtida produktion ha svårt att möta efterfrågan på fordonsgas. För att minska glappet mellan utbud och efterfrågan föreslås i utredningen ett antal åtgärder, en av dessa är att satsa på produktion av fordonsgas från deponigas.<sup>7</sup>



Figur 5: Produktion av fordonsgas från biogas och beräknad efterfrågan år 2009<sup>8</sup>

För att använda biogas som drivmedel måste den renas från ämnen som kan skada maskiner eller ge upphov till miljöskadliga föroreningar vid förbränning. Enligt svensk standard ska fordonsgas ha en metanhalt på ca 97 %. Detta värde uppnås för biogas genom avskiljning av koldioxid och kväve i en process känd som uppgradering. Uppgraderad biogas har en sammansättning och energidensitet som liknar naturgas. Fördelarna är att körsträckan kan bli längre och att fordonsmotorerna kan optimeras för att drivas av både biogas och naturgas.

Till skillnad från biogas som produceras i rötningsanläggningar så innehåller biogas från deponier (så kallad deponigas) ofta en betydande andel kväve. Kväveavskiljning är komplicerat och kostsamt och därför har det länge ansetts ointressant att använda deponigas till fordonsbränsle. Hittills har deponigas i Sverige endast utnyttjats till el- och värmeproduktion. Med tanke på Sveriges stora tillgångar av förnybara energikällor för el- och värmeproduktion i jämförelse med drivmedel så kan det vara mer fördelaktigt att använda deponigasen för att ersätta de importerade, fossila bränslena i transportsektorn. Med det rådande behovet av ökad produktion av fordonsgas kan det vara intressant att uppgradera deponigas till fordonsgas för att minska glappet mellan tillgång och efterfrågan under en utbyggnadsperiod.

<sup>6</sup> *Fordonsgasutvecklingen i Sverige*. Energigas Sverige, 2010

<sup>7</sup> Jonerholm et al. (2010)

<sup>8</sup> Ibid.

### **1.3 Syfte och mål**

Syftet med examensarbetet är att undersöka möjligheterna för produktion av fordonsgas från deponier i Biogas Öst-regionen. Målet är att bedöma hur mycket deponigas som finns att tillgå och hur mycket som kan användas för att producera fordonsgas. Tekniska och ekonomiska begränsningar ska utredas och intresset för en förändrad användning av deponigasen ska kartläggas. Förutom en uppskattning av regionens potential är målet att diskutera alternativ för hur potentialen kan utnyttjas.

### **1.4 Metod och avgränsning**

Undersökningen avgränsas geografiskt till regionen som Biogas Öst är verksamma i. Det innebär Uppsala, Stockholms, Västmanland, Södermanland, Örebro och Östergötlands län. Endast deponier för kommunalt avfall omfattas av studien.

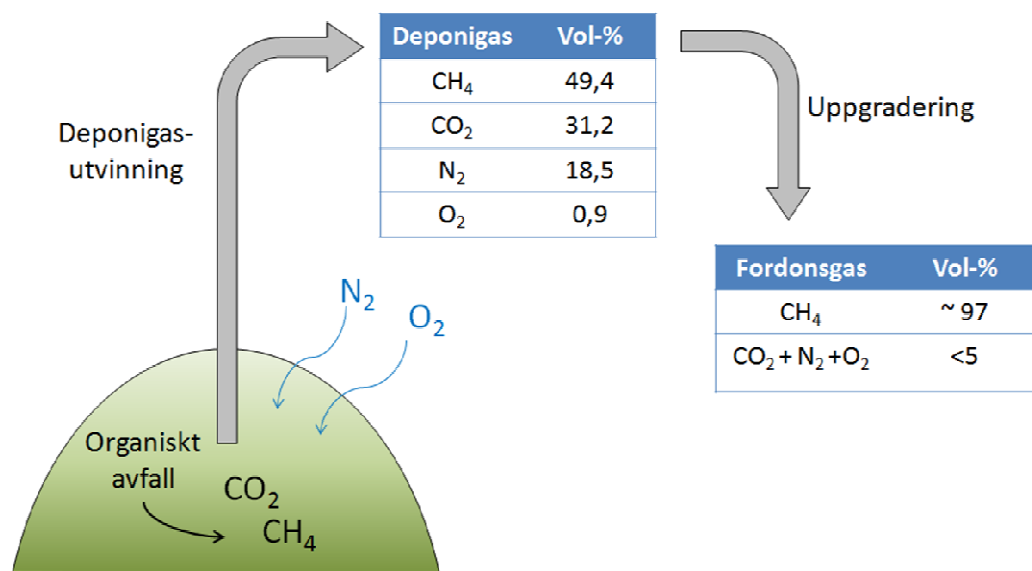
Avfallsanläggningarnas nuvarande gasutvinning, gasanvändning och lokala förutsättningar för uppgradering har utretts genom studier av anläggningarnas miljörapporter samt genom intervjuer med verksamhetsansvariga. Undersökning av teknik för uppgradering har dels gjorts genom litteraturstudie av tidigare utförda utvärderingar, dels genom fallstudier av systemlösningar vid avfallsanläggningar utomlands där deponigas uppgraderas till fordonsgas.

Sedan 2005 är det förbjudet att deponera organiskt avfall och därför kommer produktionen av deponigas avta allt eftersom det befintliga materialet bryts ned. För att ta tillvara på störst mängd deponigas är det av vikt att uppgradering av gasen kan påbörjas snarast möjligt. Beskrivning av metoder för utvinning och uppgradering av deponigas avgränsas därför till teknik som redan är kommersiell eller välbeprövad.

Ett exempel på hur man kan uppskatta potentiell gasproduktion har gjorts med en metod som rekommenderas av FN:s klimatpanel Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Metoden är utformad för att beräkna metanemissioner från ett lands samtliga deponier och anpassades därför för att beräkna mängden producerad metangas för en enskild deponi. Tidigare tillämpningar av modellen på svenska deponier studerades för att bestämma lämpliga värden för svenska förhållanden på modellens parametrar.

## 2 Från deponi till fordonsgas

I detta kapitel beskrivs ursprunget till deponigas, hur den bildas och vad den består av. För att använda deponigas som fordonsgas måste sammansättningen ändras för att uppfylla den standard som redovisas i följande avsnitt. En översiktlig bild av processen från organsikt avfall till fordonsgas ses i figur 6 nedan.



Figur 6: Principskiss över fordonsgas från en deponi

### 2.1 Utvinning av deponigas

När organiskt material bryts ned av mikroorganismer i en syrefri miljö bildas deponigas som till största delen består av metan och koldioxid. Ren deponigas har ofta en metanhalt på 55-57%, men det är vanligt att luft läcker in när deponigasen sugas ut ur avfallsupplaget. Detta tillför syre och kväve till den utvunna deponigasen och resulterar i en lägre metanhalt.<sup>9</sup>

Metan är en stark växthusgas, motsvarande 25 koldioxidekvivalenter ur ett 100-års perspektiv.<sup>10</sup> På grund av metanbildningen i deponier står de för 3-4% av de globala, antropogena utsläppen av växthusgaser.<sup>11</sup> I syfte att minska metanbildning i deponier är det sedan år 2005 förbjudet att deponera organiskt avfall i Sverige. Med organiskt avfall menas material som innehåller organiskt bundet kol, till exempel hushållsavfall, slam från reningsverk och annat biologiskt avfall.<sup>12</sup> Produktionen av deponigas kommer att klinga av men fortgå så länge som nedbrytningen pågår. Redan existerande avfallsupplag kan komma att avge deponigas i ytterligare 30-50 år.<sup>13</sup>

<sup>9</sup> Pierce L. Jeffrey (2007)

<sup>10</sup> Börjesson et.al. (2009)

<sup>11</sup> IPCC (2001)

<sup>12</sup> Annica Isacsson, Mikael Szudy (2000)

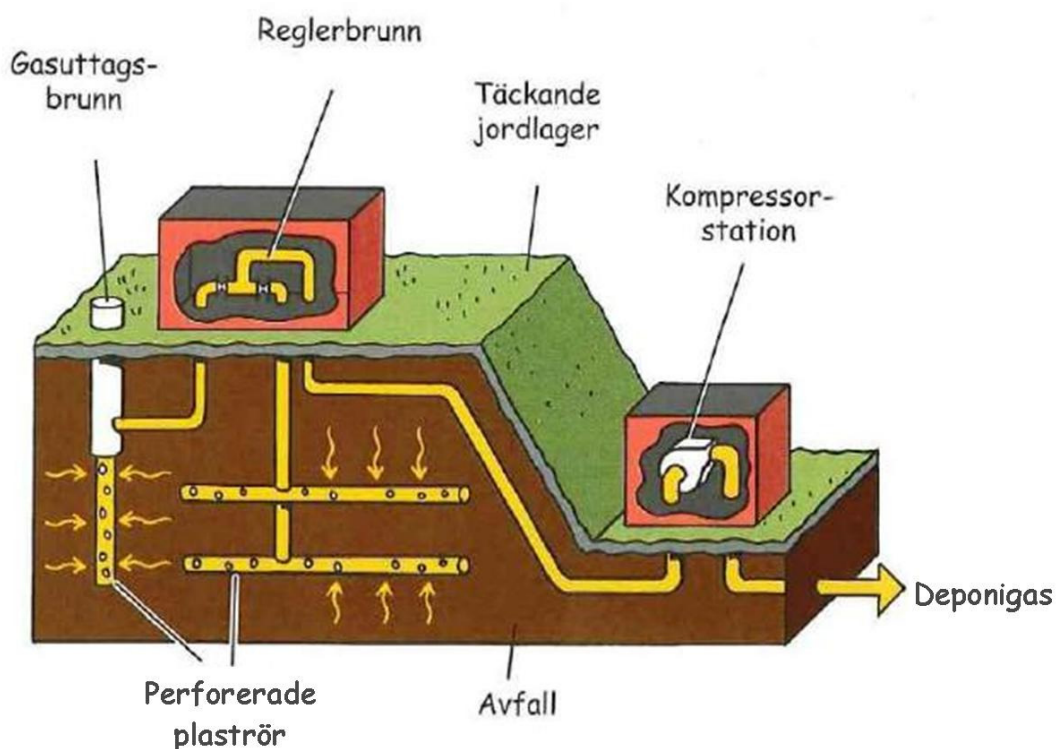
<sup>13</sup> Held, Mathiasson, Nylander (2008)

Förutom de miljömässiga aspekterna är det önskvärt att samla in deponigasen eftersom den kan utnyttjas till el- och värmeproduktion. Om deponigasen av någon anledning inte kan utnyttjas för energiutvinning så facklas den. Det innebär att man bränner deponigasen i öppen låga för att minska metanläckage till atmosfären. Enligt deponeringsförordningen från 2001 (2001:512) gäller att:

25 § Verksamhetsutövaren skall se till att deponigas samlas in från deponier som tar emot biologiskt nedbrytbart avfall för deponering.

41 § Insamlad deponigas ska behandlas och nyttiggöras. Om insamlad gas inte kan användas för energiutvinning, skall den facklas eller hanteras på annat miljömässigt mer effektivt sätt.

Deponigas har samlats in i Sverige sedan 1980-talet. En översiktlig principskiss av ett system för deponigasutvinning ses i figur 7 nedan. Från äldre deponier kan man utvinna gasen genom att borra eller trycka ned perforerade rör, så kallade gasbrunnar. Ledningar kan vara av galvaniserat järn som slås ned direkt i deponin, eller ledningar i plast som förs ned i förborrade hål. Gasbrunnarna kopplas till fläktar som suger ut gas ur deponin. I vissa fall mäts deponigasens sammansättning vid varje gasbrunn. Trycket vid varje brunn och gasuttaget från dem kan regleras individuellt med ventiler.<sup>14</sup>



Figur 7: Utvinningssystem för deponigas (Tekniska förvaltningen Örebro, 2000)

<sup>14</sup> H. Halldórsson, Björn (2010)

I modernare deponier har deponigasuttaget ofta underlättats genom successiv utplacering av vertikala, perforerade rör i upplaget. För att påskynda bildandet av metangas kan avfallet malas innan deponering. Detta ökar reaktionsytan för substratet och påskyndar nedbrytningsprocesserna.<sup>15</sup>

En gasbrunn brukar tas ur drift efter cirka fem år. Det kan bero på att metanhalten i gasen på den specifika platsen blivit för låg. Det kan även bero på problem med själva gasrören. Allt eftersom avfallet bryts ned uppstår det sättningar i deponin vilket kan få ledningarna att brytas av. Ett annat vanligt problem är att vätska läcker in i rören. Det kan då uppstå vattenlås som hindrar gasen att passera.<sup>16</sup>

Innan deponigasen förs vidare för rening och uppgradering så komprimeras den. Kompressorn kan vara eldriven eller drivas genom förbränning av deponigas. Både rå och uppgraderad deponigas kan användas i detta syfte.<sup>17</sup>

## 2.2 Ursprunglig gaskvalité

Till största delen innehåller deponigas metan, koldioxid och kväve. Metan och koldioxid bildas i nedbrytningsprocessen medan kväve tillförs gasen då luft sugas in i deponin. Även deponigasens innehåll av syre har sitt ursprung i luft som sugas in i deponin. Syre förbrukas dock snabbt av mikroorganismer i deponin, vilket förklarar den relativt låga halten på 0,9 vol-% som medelvärde för analysresultaten som ses i tabell 1.

Deponigas kan innehålla över 500 sorters föroreningar och ämnen som inte är önskvärda att ha i fordonsgas.<sup>18</sup> Vissa av dessa orsakar problem som korrosion och avlagringar i kompressorer, motorer, lagringstankar och andra komponenter. Svavelväte bildas i deponin vid anaerob nedbrytning av proteiner och annat organiskt material som innehåller svavelföreningar. Svavelväte är kraftigt korrosivt på de flesta metaller och är därför viktigt att renas bort<sup>19</sup>.

Tabell 1: Analysresultat av gas från ett antal deponier<sup>20</sup>

<i>Komponent</i>	<i>Medelvärde</i>	<i>Minsta värde</i>	<i>Högsta värde</i>	<i>Antal deponier</i>
Metan (vol-%)	49,4	39,4	60,3	12
Koldioxid (vol-%)	31,2	25,8	38,8	12
Kväve (vol-%)	18,5	4,2	32,3	12
Syre (vol-%)	0,9	0	1,5	12
Svavelväte (mg/m <sup>3</sup> )	652,3	290	990	4
Organiskt kisel (mg/m <sup>3</sup> )	15,6	5,2	24,6	4
Halogenerade kolväten (mg/m <sup>3</sup> )	3,6	0,2	7,0	2

<sup>15</sup> Thedéen, Karin (2007)

<sup>16</sup> Meijer, Jan-Erik (2007) se Thedéen, Karin (2007) s. 6

<sup>17</sup> Pierce, Jeffrey L. (2007)

<sup>18</sup> Persson, Margareta och Wellinger, Arthur (2006)

<sup>19</sup> Persson, Margareta och Wellinger, Arthur (2006)

<sup>20</sup> Benjaminsson et al. (2010)

## 2.3 Kvalitetskrav på fordonsgas

Om biogas ska säljas som fordonsgas skall den uppfylla vissa krav enligt Svensk Standard SS 15 54 38. Det finns två klasser av fordonsgas; standard B som används till motorer med lambdareglering och standard A som har något högre krav och som används till motorer utan lambdareglering. Deponigas måste alltså renas och uppgraderas till en sammansättning som uppfyller dessa krav, se tabell 2.

Trots att det finns utrymme för två klasser av fordonsgas i den svenska standarden så har branschen anpassat sig till ett och samma riktvärde. Vare sig man tankar på en publik tankstation eller bussdepå ska det alltså vara samma sammansättning på gasen.<sup>21</sup> I snitt håller såld fordonsgas en metanhalt på 97 %, men standarden innebär i praktiken att det är möjligt att sälja biogas med en metanhalt ned till 95 %.<sup>22</sup>

Att det finns två klasser för fordonsgas har historisk förklaring i att det förr fanns fler fordon (främst bussar) utan lambdareglering som därför krävde ett snävare intervall på metanhalten. Idag klarar de flesta fordon av att köras på lägre halter metan, men fordonet får då en kortare räckvidd.<sup>23</sup>

Standarden reglerar inte gasens innehåll på halogenerande kolväten eller siloxaner trots att de kan orsaka skada på utrustningen. Detta beror på att rötgas till skillnad från deponigas normalt inte innehåller dessa föroreningar och standarden utformades innan deponigas ansågs aktuellt för uppgradering. För tillfället pågår en förundersökning vid Svenskt Gastekniskt Center (SGC) om revidering av dagens standard för att anpassa den till fordonsgas som kan produceras av fler typer av källor.<sup>24</sup>

Tabell 2: Utdrag ur Svensk Standard SS 15 54 38 för biogas som bränsle till magermotorer<sup>25</sup>

<i>Parameter</i>	<i>Standard A</i>	<i>Standard B</i>
Metan, CH <sub>4</sub> (vol-%)	96-98	95-99
CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> (vol-%)	<1	<5
Vattenhalt (mg/Nm <sup>3</sup> )	<32	
Syrgas, O <sub>2</sub> (vol-%)	<1	
Svavel (mg/Nm <sup>3</sup> )	<23 (motsvarande ≈16 ppm <sub>v</sub> H <sub>2</sub> S)	
Partikelstorlek (µm)	<1	

<sup>21</sup> Michelle Ekman, verksamhetsansvarig Fordonsgas. Energigas Sverige (2010)

<sup>22</sup> Svensson, Mattias. Utvecklingsingenjör, SGC (2010).

<sup>23</sup> Ibid.

<sup>24</sup> Svensson, Mattias (2009), se Benjaminsson et al (2010) s.15

<sup>25</sup> SGC 2003

### 3 Reningstekniker

Målet för rening och uppgradering av deponigas är att uppnå de krav på innehållet i fordonsgas som redovisades i föregående kapitel. Deponigas innehåller även föroreningar som inte omfattas av ovan nämnda standard, men som ändå är önskvärda att avskilja på grund av deras negativa påverkan på miljö och utrustning. För varje oönskad komponent finns ofta flera olika metoder att avskilja ämnet från gasen. Vissa reningsmetoder kan dessutom avskilja flera av de oönskade komponenterna på samma gång. En sammanfattning över vanliga föroreningar i deponigas och reningstekniker för att ta bort dessa ses i tabell 3 nedan.

Tabell 3: Sammanställning av komponenter i deponigas, varför och hur de tas bort

<i>Oönskad komponent</i>	<i>Problem</i>	<i>Möjliga reningsmetoder</i>
Svavelväte	Korrosion, dålig lukt	Absorption eller adsorption
Vatten	Korrosion	Filtrering, kondensering eller adsorption
Partiklar	Slitage	Filtrering eller centrifugering
Siloxaner	Igensättning, slitage	Kondensering eller adsorption på aktivt kol
Halogenerade kolväten	Korrosion	Adsorption på aktivt kol
Koldioxid	Sänker värmeverdets	Vattenskrubber, PSA, membran eller kryoteknik
Kväve	Sänker värmeverdets	PSA eller kryoteknik

Det finns olika systemlösningar för att producera fordonsgas från deponigas, bestående av olika kombinationer av metoder för rening och uppgradering. Uppgraderingssystemen från följande leverantörer har studerats:

- Cirmac/Läckeby Water Group
- Guild Associated, Inc/Molecular Gate
- Air Liquide
- Terracastus Technologies

Processerna liknar varandra med avseende på den ordning som komponenterna avskiljs. Till exempel tas vatten och svavelväte bort tidigt i processen eftersom dessa komponenter annars kan orsaka korrosion på reningsutrustningen nedströms. I samtliga fall är koldioxid och kväve de sista komponenterna som avskiljs. I följande avsnitt beskrivs olika metoder för att rena deponigas från oönskade komponenter i den ordning som är möjlig i ett system för produktion av fordonsgas. Avskiljning av koldioxid och kväve är nyckeln till att höja deponigasens energiinnehåll för att uppfylla standarden för fordonsgas och uppgraderingstekniker beskrivs därför utförligt i ett separat kapitel (kapitel 4).

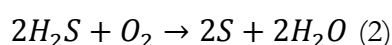


### 3.1 Svavelväte

Som tidigare nämnts så ger svavelföreningar i organisk avfall upphov till svavelväte ( $H_2S$ ) då det bryts ned. Svavelväte kan rensas bort från deponigasen tillsammans med koldioxid med absorption- eller membranteknik. Eftersom svavelväte förorenar vissa uppgraderingssystem och är korrosivt på de flesta metaller måste dock rening från svavelväte ske i ett separat steg tidigt i processen.<sup>26</sup> Två av de vanligaste metoderna beskrivs nedan: adsorption på aktivt kol och kemisk adsorption med järnoxid.

#### 3.1.1 Adsorption på aktivt kol

Deponigas kan rensas från svavelväte genom att låta det reagera med syre och bilda svavel och vatten enligt reaktion (2) nedan. Aktivt kol används som katalysator och reaktionen påskyndas ofta genom att kolet impregneras med exempelvis kaliumjodid (KI).<sup>27</sup> Processen fungerar bäst vid en temperatur på 50-70°C och ett tryck på 7-8 bar.<sup>28</sup>

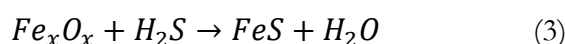


Om deponigasen redan innehåller syre sker reaktionen automatiskt. I annat fall kan luft tillsättas för att få svavelvätet att reagera med syret i luften. Nackdelen är att även kväve följer med luften som tillsätts. Kvävet förbrukas inte såsom syret i reaktionen utan blir kvar i gasen och ökar därmed behovet av efterföljande uppgradering. Om halten av svavelväte är låg behövs dock bara små mängder syre och då påverkas kvävehalten marginellt.

Svavlet som bildas i reaktionen (2) adsorberas på det aktiva kolet. Efterhand som kolet blir mättat byts det vanligtvis ut till nytt aktivt kol. Det kan även regenereras med hjälp av ånga eller upphettad kvävgas som förångar det adsorberade svavlet. För att upprätthålla en kontinuerlig reningsprocess behövs två adsorptionskolonner som arbetar växelvis med rening och regenerering.<sup>29</sup>

#### 3.1.2 Kemisk adsorption med metalloxid

En annan metod för att rena deponigas från svavelväte är genom kemisk adsorption på en metalloxid. Vanligtvis används järnoxid som reagerar med svavelväte så att det bildas järnpyrit och vatten enligt reaktion (3) nedan.<sup>30</sup> Det finns ett antal kommersiella produkter för adsorption av svavelväte, ett exempel är Sulfa Treat®. Det består av en blandning av metalloxider som är formade till korn eller pellets. Allt eftersom adsorptionsmaterialet blir mättat sjunker effektiviteten för rening av svavelväte. Halten av svavelväte i den utgående gasen bör därför mätas för att avgöra när adsorptionsmaterialet måste bytas ut.<sup>31</sup>



---

<sup>26</sup> Hagen et al. (2001)

<sup>27</sup> Ibid.

<sup>28</sup> Persson, Margareta (2003)

<sup>29</sup> Hagen et al. (2001)

<sup>30</sup> Benjaminsson et al. (2010)

<sup>31</sup> Hagen et al. (2001)

### 3.2 Vatten och partiklar

Vattenhalten måste reduceras för att undvika korrosion. Torkning sker oftast genom nedkylning av gasen så att vattenånga kondenseras och sedan kan tappas av. För att nå en lägre daggpunkt kan gasen komprimeras innan den kyls.

Partiklar i gasen tas bort genom textil- eller pappersfilter eller med hjälp av en cyklon. Filter har fördelen att de även tar bort eventuella oljedroppar och en viss mängd vatten i vätskefas.<sup>32</sup>

### 3.3 Siloxaner

Siloxaner är en grupp organiska kiselföreningar som kan återfinnas i deponigas. Dessa kommer från hushållsprodukter som innehåller silikon, till exempel tvättmedel och kosmetika. Siloxaner orsakar igensättning av motorer och annan utrustning eftersom de bildar kiselavlagringar då de förbränns. Deponigas kan renas från siloxaner genom adsorption på aktivt kol. Nackdelen är att kolet inte kan regenereras utan måste bytas ut då det mättats av föroreningen, vilket gör reningsmetoden kostsam.

En annan metod att ta bort siloxaner är att kyla ned gasen under kondenserings temperatur eller lägre. Om gasen kyls till  $-25^{\circ}\text{C}$  uppnås en rening på 26 % då siloxaner kondenseras. Kyls gasen ytterligare ned till  $-70^{\circ}\text{C}$  fryser siloxaner och då möjliggörs en reningseffektivitet på 99 %.<sup>33</sup>

### 3.4 Halogenerade kolväten

Kolväten som innehåller klor, fluor eller brom kallas med ett samlingsnamn för halogenerade kolväten. De flesta av dessa härstammar från direkt avdunstning från diverse kemiska konsumtionsprodukter i deponin. Det är en långsam process vilket innebär att de bildas under lång tid efter deponeringen, men att halten av halogenerade kolväten i deponigasen är låg. Vid förbränning bildar halogenerade kolväten korrosiva gaser, speciellt om det finns vatten tillgängligt.<sup>34</sup>

Halogenerade kolväten kan renas genom adsorption på aktivt kol som impregnerats. Det gör att metangas som består av mindre molekyler passerar adsorptionskolonnen medan större molekyler som halogenerade kolväten adsorberas av det aktiva kolet. Regenerering kan ske genom att upphetta det aktiva kolet till en temperatur på  $200^{\circ}\text{C}$ .<sup>35</sup>

---

<sup>32</sup> Persson, Margareta och Wellinger, Arthur (2006)

<sup>33</sup> Ibid.

<sup>34</sup> Ibid.

<sup>35</sup> Öhman, Anna (2009)

## 4 Uppgraderingstekniker

I detta kapitel beskrivs tillgängliga tekniker för uppgradering, det vill säga avskiljning av koldioxid och kväve från deponigas.

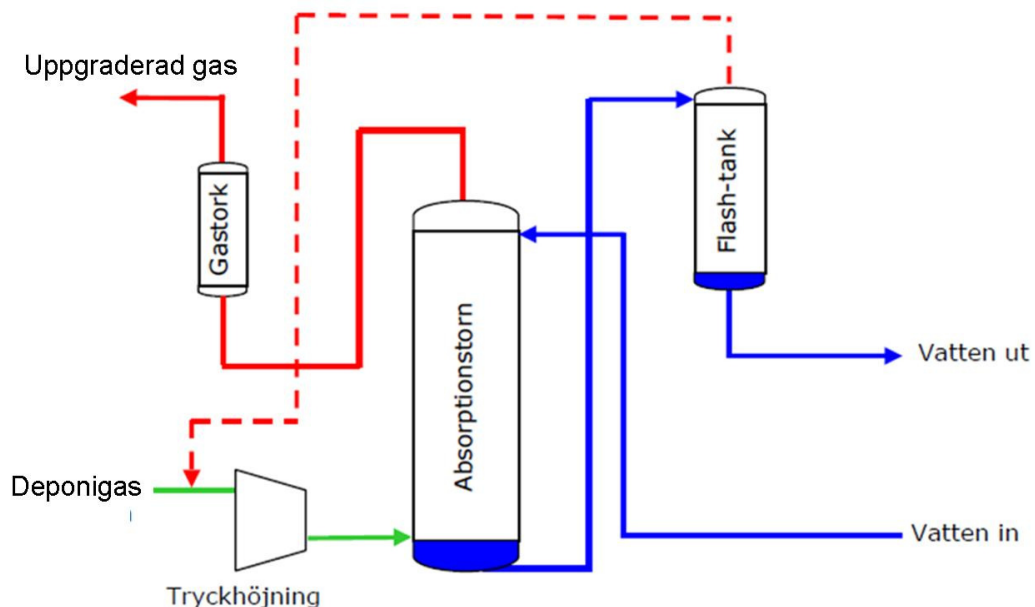
### 4.1 Koldioxidavskiljning

För att separera koldioxid från metan i deponigas utnyttjas skillnader i deras kemiska och fysikaliska egenskaper. I följande avsnitt beskrivs hur deras förmåga till löslighet utnyttjas vid vattenskrubberteknik eller kemisk absorption samt hur förmåga att tränga igenom ett material utnyttjas vid membranteknik.

#### 4.1.1 Absorption med vattenskrubberteknik

Avskiljning av koldioxid med vattenskrubber utnyttjar att koldioxid löser sig lättare i vatten än vad metan gör. Koldioxid har en löslighet på 1,7163 vol/vol medan metan bara har en löslighet på 0,054 vol/vol i vatten vid 1,013 bar och 0°C<sup>36</sup>. Deponigasen komprimeras först för att öka lösligheten och får sedan stiga upp genom ett skrubbertorn där det möts av en nedåtgående ström av vatten. För att öka mängden koldioxid som löses från gasen behövs en stor kontaktyta mellan gas och vätska. Detta uppnås genom att skrubbertornet fylls med så kallade fyllkroppar som kan vara av olika material och utformning.

Från botten av skrubbertornet tappas vattnet av som innehåller löst koldioxid, och från toppen av tornet tappas uppgraderad gas som då är anrikad på metan. Vattnet som är mättat på koldioxid förs till en flashtank där trycket sänks så att eventuell metan som löst sig i vattnet återgår till gasform. Gas från flashtanken återförs till skrubbertornet för att minska metanförlusterna. Ett översiktligt flödesschema för uppgradering med vattenskrubber ses i figur 8.



Figur 8: Flödesschema för vattenskrubber (Biogas Syd 2008)

<sup>36</sup> Benjaminsson, Johan, Johansson, Nina & Karlsvärd, Johan (2010)

Systemet för vattenskrubber kan vara av två typer; genomströmmande eller med recirkulerande vatten. Ett system med recirkulerande vatten innefattar en desorptionskolonn som avskiljer koldioxid från vattnet innan det förs tillbaka till absorptionsstornet. En genomströmmande vattenskrubber har lägre investeringskostnad eftersom inget desorptionstorn behövs, men har såklart en högre vattenförbrukning.

Majoriteten av alla uppgraderingsanläggningar för biogas i Sverige använder absorption av koldioxid med vattenskrubber.<sup>37</sup> Det bör dock förtydligas att det då handlar om uppgradering av rötgas som alltså inte kräver kväveavskiljning. Utomlands tillämpas dock vattenskrubber även för uppgradering av deponigas. Ett exempel på systemlösning som tillämpas på Island beskrivs i avsnitt 5.1.

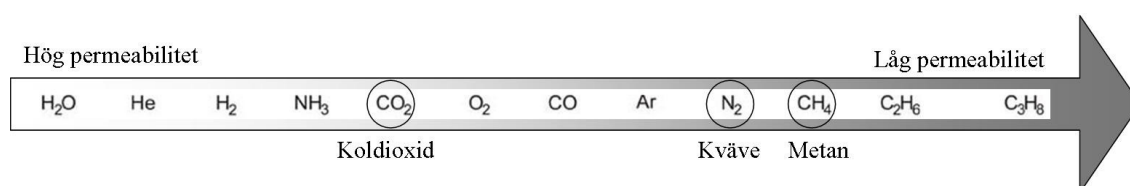
#### 4.1.2 Kemisk absorption

Koldioxidavskiljning med kemisk absorption görs i ett system med absorptionskolonn och regenerering precis som för recirkulerande vattenskrubberteknik. Skillnaden är att vattnet är ersatt av en kemikalie som löser koldioxid genom en kemisk reaktion. Det finns ett flertal olika kemikalier för absorption av koldioxid, vanligast är en typ av etylamin i form av monoetanolamin (MEA).<sup>38</sup>

Etylaminen kan regenereras genom att höja temperaturen och/eller sänka trycket. Regenereringen är energikrävande och överskottsvärmen bör kunna tillvaratas för att systemet ska vara ekonomiskt och energimässigt försvarbart. Fördelen med att använda kemisk absorption är att aminen som används inte reagerar med metan vilket gör att metanförluster undviks.<sup>39</sup> En annan fördel med kemisk absorption är att uppgraderingen sker vid atmosfärstryck till skillnad från vattenskrubberteknik där deponigasen trycksätts innan den förs in i adsorptionskolonnen.

#### 4.1.3 Membranteknik

Koldioxidavskiljning med membranteknik bygger på skillnader i permeabilitet (genomträngningsförmåga) för olika molekyler genom ett visst material. Skillnaden i permeabilitet mellan metan och kväve är för liten för att membranteknik ska kunna tillämpas även för kväveavskiljning, se figur 9.



Figur 9: Olika gasers förmåga att tränga igenom ett membran<sup>40</sup>

<sup>37</sup> Persson, Margareta (2003)

<sup>38</sup> Ibid.

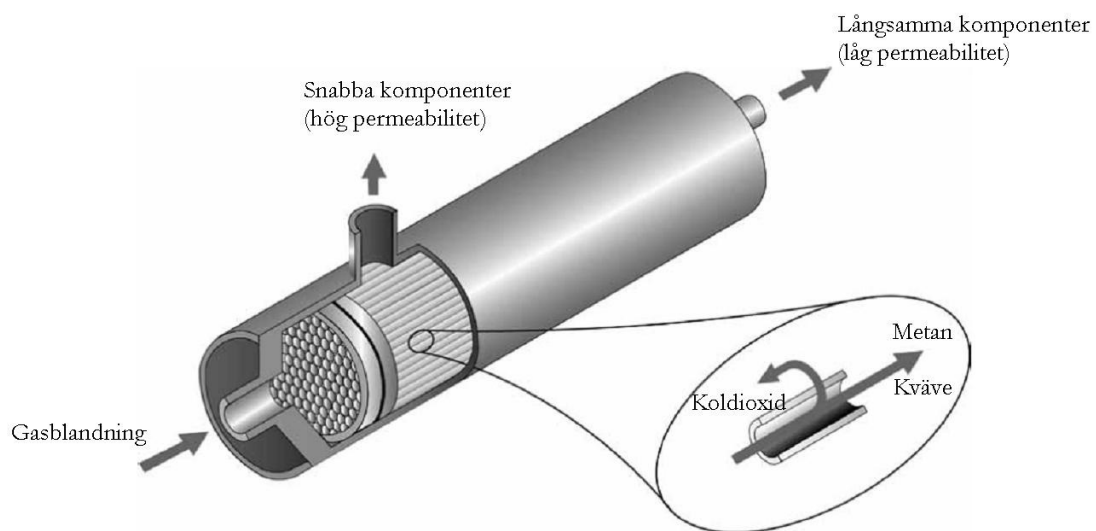
<sup>39</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>40</sup> *Membrane technology*. Grasys (2010)

En tryckskillnad byggs upp över en vägg av materialet som utgör membran. Gasblandningen flödar längs med membranet på högtryckssidan. De komponenter som har högst permeabilitet kommer snabbast tränga igenom membranet till lågtryckssidan. Vid uppgradering av deponigas har koldioxid högre permeabilitet än metan, och därför kommer koldioxid kunna tappas av på lågtryckssidan.

För att få en effektiv separation krävs en stor membranarea vilket uppnås genom att forma membranmaterialet till smala rör, så kallade hålfibrer.<sup>41</sup> Dessa buntas samman och kapslas in av ett material som inte är genomträngligt för någon av gaskomponenterna. Figur 10 visar utformningen av ett sådant membran av märket MEDAL<sup>TM</sup>.

Utformningen av reningsprocessen gör att det blir en balansgång mellan metanhalt efter uppgradering och metanförluster. För att uppnå en effektivare avskiljning av koldioxid kan fler membran användas, men detta medför även att mer metan kan passera genom dem. För att utnyttja denna restgas som då innehåller en viss mängd metan bör man förbränna den i ett system som bidrar till att försörja anläggningen med el och/eller värme.



Figur 10: Principskiss för membranseparering med MEDAL<sup>TM</sup>

Metoden som beskrivits ovan kallas för torr teknik eller separationsmembran. En annan typ av metod är våt teknik eller absorptionsmembran. Den fungerar så att det på ena sidan av membranet flödar en lösning i vätskefas som absorberar de önskade komponenterna. Lösningen kan sedan regenereras genom upphettning.<sup>42</sup>

<sup>41</sup> Benjaminsson, Johan (2006)

<sup>42</sup> Öhman, Anna (2009)

Membranseparation är en metod som är ovanlig i Europa men klassisk i USA för uppgradering av deponigas. Den första anläggningen för uppgradering av deponigas med membranseparation byggdes i USA i slutet på 1970-talet. Den äldre tekniken arbetade vid högt tryck, upp till 30 bar, och hade stora metanförluster. Sedan dess har tekniken utvecklats och kan användas vid lägre tryck (8 bar) och med mindre metanförluster.<sup>43</sup>

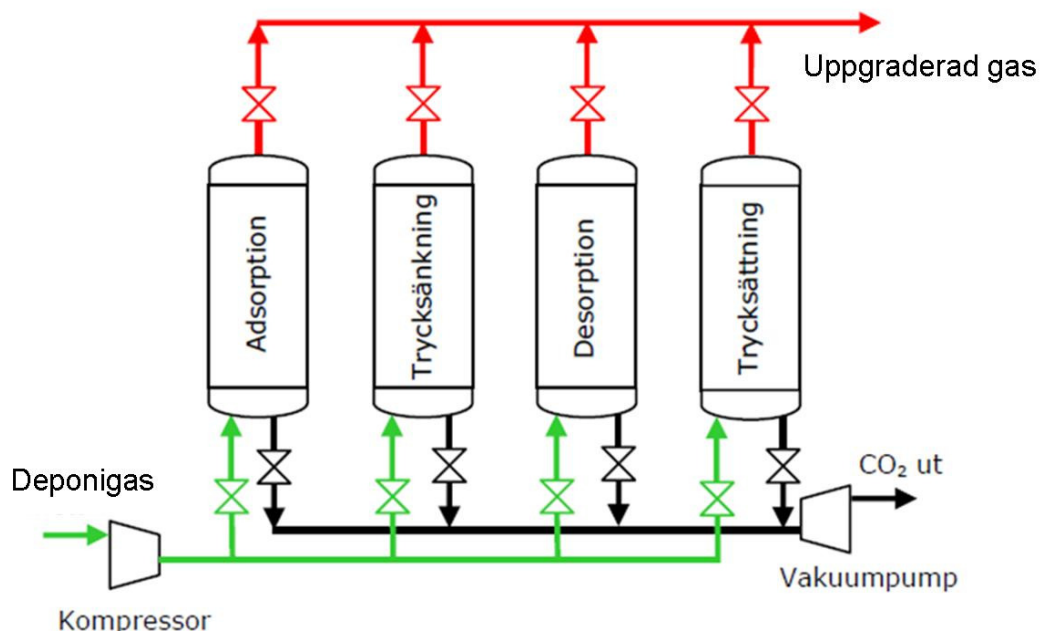
## 4.2 Kväveavskiljning

I följande avsnitt beskrivs två uppgraderingstekniker för kväveavskiljning; Pressure Swing Adsorption (PSA) och kryoteknik. Metoderna kan separera både kväve och koldioxid från metangas.

### 4.2.1 Pressure Swing Adsorption

Uppgradering med PSA (Pressure Swing Adsorption) bygger på skillnader i molekylstorlek mellan metan och kväve respektive koldioxid. Storleksskillnaderna gör att molekylerna adsorberas mer eller mindre på ytan av olika material. Materialet utformas för att vara selektivt för de ämnen man vill ta bort från gasen. Dessa kan variera och är ofta patenterade, men grundtanken och systemet i sig beskrivs nedan och en principskiss ses i figur 11.

Deponigasen komprimeras och förs genom en kolonn som är fylld med adsorptionsmaterialet. Koldioxid, syre och kväve adsorberas på väg genom kolonnen. Gasen som fås ut är anrikad på metan och leds till en annan trycksatt kolonn. När adsorptionsmaterialet i den första kolonnen är mättat börjar nästa steg i processen, det vill säga trycksänkning och desorption.



Figur 11: Översiktligt flödesschema för PSA (Biogas Syd 2008)

<sup>43</sup> Petersson, Anneli och Wellinger, Arthur (2009)

För att spara energi vid PSA används flera kolonner i serie så att trycksänkning och tryckökning kan påbörjas genom att koppla samman kolonner parvis och sätta dem i balans. Ofta används fyra kolonner men det är även möjligt att ha sex eller nio som arbetar i serie.<sup>44</sup>

När trycket sänks så börjar adsorptionsmaterialet regenereras. Gasen som lämnar kolonnen tidigast vid trycksänkningen innehåller fortfarande betydande mängder metan, och leds därför till processens inflöde för ytterligare behandling. Gasen som lämnar kolonnen vid ytterligare trycksänkning innehåller mest de ämnen som skulle skiljas från gasen. När vakuum nästan uppnåtts och all restgas har sugits ut börjar processen om. Trycket byggs upp på nytt genom att kolonnen först sätts i balans med en kolonn som varit i adsorptionsfasen och byggs sedan upp ytterligare genom att ny, komprimerad deponigas tillförs.

PSA är en vanlig teknik för att uppgradera rötgas till fordonsgas i Sverige. Utomlands är det även en vanlig teknik för uppgradering av deponigas. Exempelvis tillämpas det utanför Rom vid Malagrotta som är av Europas största, aktiva deponier. Deponigas samlas in från över 600 gasbrunnar. Efter filtrering och torkning av deponigasen avskiljs svavelväte genom adsorption med järnoxid. Koldioxid avskiljs med vattenskrubber och som ett sista steg används PSA för kväveavskiljning. Den uppgraderade gasen har en metanhalt på 97-99 %. Fordonsgasen som produceras från deponigas vid Malagrotta räcker till en total körsträcka på 10 600 km/dag.<sup>45</sup>

#### 4.2.2 Kryoteknik

Kryoteknik är ett samlingsnamn för ett teknikfält som behandlar mycket låga temperaturer. I detta sammanhang avser begreppet uppgradering av biogas genom successiv nedkylning av rågasen. I princip fungerar det som destillering vid temperaturer ned under -160°C och kan avskilja de flesta oönskade komponenter i deponigas, inklusive kväve.

Kryotekniken utnyttjar skillnader i gaskomponenternas olika kondenseringstemperaturer (se tabell 4) för att skilja dem från varandra. Koldioxid kan avskiljas i fast eller flytande form från metan i gasfas.<sup>46</sup> För att avskilja kväve måste temperaturen sänkas under kokpunkten för metan. Anrikad metangas kan då tappas av i flytande form medan kvävet är kvar i gasfas.

Tabell 4: Kokpunkt vid atmosfärstryck<sup>47</sup>

<i>Komponent</i>	<i>Kokpunkt (°C)</i>
Koldioxid	-78,5*
Metan	-161,52
Syre	-182,97
Kväve	-195,8

\*Sublimationspunkt

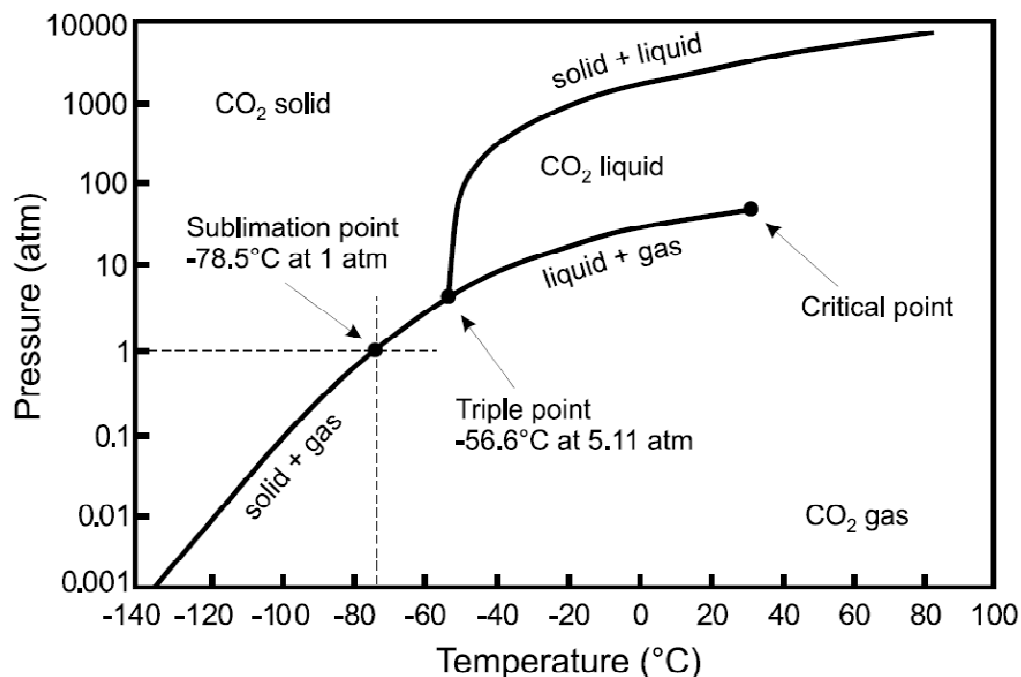
<sup>44</sup> Petersson, Anneli och Wellinger, Arthur (2009)

<sup>45</sup> Persson et al. (2007)

<sup>46</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>47</sup> Gas Encyklopedia

Vid atmosfärstryck övergår koldioxid direkt från gasform till fast form vid  $-78,5^{\circ}\text{C}$ , se fasdiagrammet i figur 12. Det bildas då så kallad torr-is vilket kan orsaka igensättning av uppgraderingsutrustningen. I deponigas är koldioxid utblandad med metan vilket förändrar fasdiagrammet. Fryspunkten för koldioxid sjunker allt eftersom metanhalten stiger. För att uppgradera deponigas med kryoteknik krävs därför att tryck och temperatur kan kontrolleras ytterst noggrant. Det är även viktigt att all koldioxid avskiljs innan kväveavskiljningen påbörjas.<sup>48</sup>



Figur 12: Fasdiagram för koldioxid (Shakhashiri 2008)

Igensättning på grund av bildning av torr-is är den största svårigheten med att avskilja koldioxid och kväve från metangas. Företag som utvecklar kryoteknik; Scandinavian GtS, Acrion Technologies och Prometheus Energy har alla beskrivit denna problematik. En pilotanläggning från det senare företaget är sedan 2006 i drift i USA på deponin *Frank R. Bowerman Landfill*.<sup>49</sup> Uppgraderingen gjordes till en början med kryoteknik men på grund av problem med bildning av torr-is ansågs den inte redo för större gasflöde och sista uppgraderingssteget byttes därför ut till PSA.

För att komma ned till de låga temperaturer som krävs så kan värmeväxling ske med ett kylmedium som cirkuleras i en extern krets. Kylmediet kan till exempel vara flytande kväve, vilket tillämpas i uppgraderingssystem från Prometheus Energy.<sup>50</sup> En annan metod för att sänka temperaturen är att först trycksätta rågasen och kyla den. Genom att låta gasen expandera genom en strypventil sänks då temperaturen ytterligare.<sup>51</sup>

<sup>48</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>49</sup> Clarkson, Dan (2007)

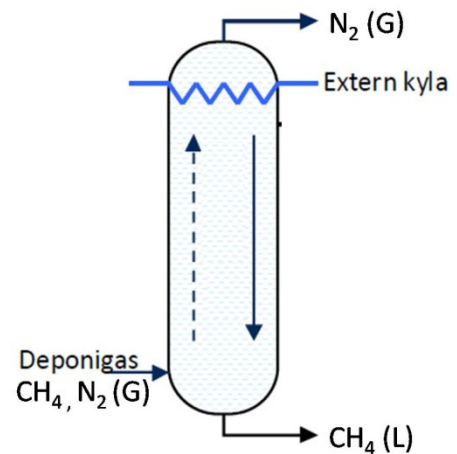
<sup>50</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>51</sup> Benjaminsson, Johan (2006)



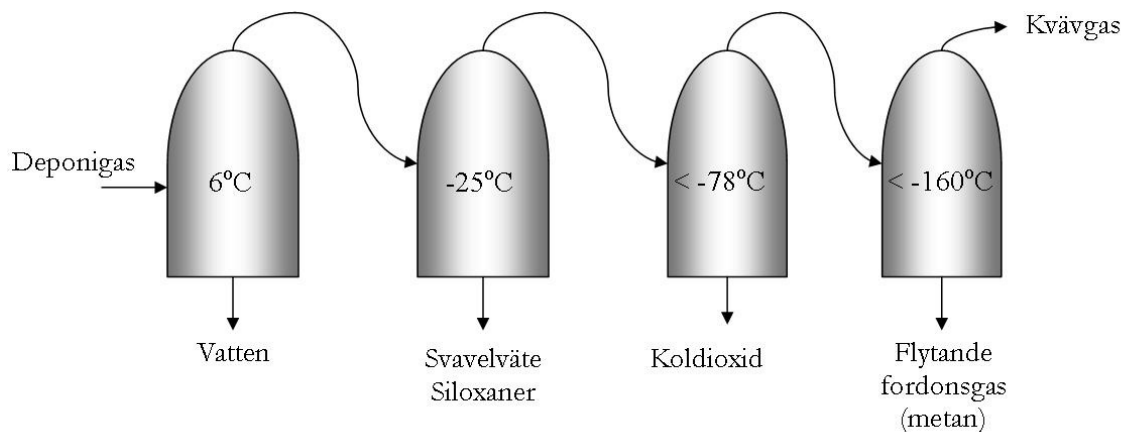
Gasblandningen som efter rening och koldioxidavskiljning bara består av metan och kväve leds in i botten av en destillationskolonn, se figur 13. I toppen av kolonnen finns en värmeväxlare som ofta innehåller flytande kväve som kylmedium. När gasblandningen stiger upp i destillationskolonnen sjunker temperaturen under kokpunkten för metan som då kondenserar. Kvävgasen leds bort från toppen av destillationskolonnen medan metan i vätskefas sipprar ned igen.

Destillationskolonnen innehåller fyllkroppar som ökar kontaktytan mellan kondenserad, nedsipprade metan och den uppåtgående gasblandningen. Metan som är i gasfas absorberas då av flytande metan. I botten av destillationskolonnen tappas vätskan av som är berikad på metan.<sup>52</sup>



Figur 13: Principskiss över destillationskolonn för kryogen uppgradering

Om kryoteknik tillämpas för kväveavskiljning är det lämpligt att även föregående reningssteg görs genom kondensering. Nedkylningen för kväveavskiljning underlättas om rågasen successivt kylts ned i reningsprocessen.<sup>53</sup> Energianvändningen för processen kan också minskas då rågasen till viss del kyla genom värmewäxling med den producerade, flytande fordonsgasen.<sup>54</sup> Scandinavian GtS erbjuder en sådan helhetslösning för uppgradering av deponigas med kryoteknik. För att undvika problem med bildning av torr-is så används flera parallella värmeväxlare som växlar mellan funktionerna nedkylning och avfrostning.<sup>55</sup> En förenklad principskiss av systemlösningen illustreras i figur 14 nedan.



Figur 14: Uppgraderingssystem med kryoteknik från Scandinavian GtS

<sup>52</sup> Benjaminsson et al. (2010)

<sup>53</sup> Benjaminsson, Johan (2006)

<sup>54</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>55</sup> Ibid.

Kryoteknik är en relativt ny metod för uppgradering av deponigas men intresset är stort. Av de två avfallsanläggningar i Biogas Öst-regionen som har planer på att uppgradera deponigas har båda uppgett kryoteknik som det mest troliga valet av uppgraderingsteknik.

Den första uppgraderingsanläggningen av deponigas som är planerad att byggas i Sverige ska använda kryoteknik från Terracastus Technologies. Anläggningen är till Fälbarnadeponin i Helsingborg och ska ha en kapacitet att producera fordonsgas motsvarande 150 GWh/år. Den totala investeringskostnaden, inklusive anläggning och byggnad uppges vara ca 150 miljoner kronor.<sup>56</sup> Metanförlusterna i Terracastus uppgraderingsprocess uppges bli 1,4 %. Metan i restgasen tas tillvara genom att använda den till att förbränna föroreningarna som avskiljts från rågasen i reningsprocessen. Metanutsläppen hålls på så sätt under 0,4 promille av rågasens metaninnehåll.<sup>57</sup>

## 5 Systemlösningar utan kväveavskiljning

Vattenskrubber och membranteknik som beskrivits ovan är vanliga metoder för att producera fordonsgas från rötgas i Sverige. För att kunna producera fordonsgas av deponigas som innehåller kväve måste uppgraderingen kompletteras med PSA eller kryoteknik. Utomlands finns dock exempel på hur deponigas uppgraderas till fordonsgas utan att kväveavskiljning tillämpas, i följande avsnitt beskrivs hur det möjliggörs på Island och i USA.

### 5.1 Uppgradering med vattenskrubber på Island

Deponin i Álfsnes, utanför Reykjavík anlades 1991 och avfallet som tas emot vid Álfsnes kompakteras till balar och staplas på deponin, se figur 15.



Figur 15: Deponin Álfsnes vid Reykjavík

<sup>56</sup> Johansson, Tomas (2010)

<sup>57</sup> Ibid.

Gasutvinning har skett från deponin vid Álfarnes sedan 1996. De första gasbrunnarna utgjordes av smala ledningar i galvaniserat järn som slogs ned ända till botten av deponin. Idag används istället ledningar i plast som har förts ned i förborrade hål. Deponin har tillstånd att ta emot avfall fram till 2015 och deponigas tros vara utvinningsbart fram till 2030. Från början facklades all gas men nu uppgraderas den till fordonsgas med vattenskrubberteknik.

År 2005 importerades två biogasbussar till Island som markant ökade efterfrågan på fordonsgas. Det beslutades då att en ny uppgraderingsanläggning skulle byggas. Vid jämförelse med alternativa uppgraderingsmetoder ansågs vattenskrubber mest fördelaktigt ur energi- och kostnadseffektivitet. Den nya uppgraderingsanläggningen är designad av VGK-Hönnun (nuvarande Mannvit Engineering) och har kapacitet att behandla 700 m<sup>3</sup> deponigas per timme.<sup>58</sup> Uppgraderingen resulterar i en metanhalt på 95 % från ursprungliga 50-60 %.

Vattenskrubber fungerar effektivt på koldioxid och svavelväte men inte på syre eller kväve. Att uppgradering med vattenskrubber är framgångsrikt på Island förutsätter att deponigasen som utvinns har en väldigt låg halt av kväve från början. Att Álfarnes lyckas producera en deponigas med minimalt innehåll på kväve kan förklaras av att gasuttaget regleras utifrån syrehalt. Syre liksom kväve har sitt ursprung i luft som läcker in om det skapas för stort undertryck i deponin. Deponigasens syrehalt mäts vid varje gasbrunn och gasutvinningen regleras sedan för att eftersträva 0 % syre. Regleringen sker med ventiler (se figur 16) som styr trycket vid varje enskild brunn.<sup>59</sup>



Figur 16: Ventiler som styr trycket i gasbrunnar på deponin vid Álfarnes<sup>60</sup>

<sup>58</sup> Petersson, Anneli och Wellinger, Arthur (2009)

<sup>59</sup> H. Halldórsson, Björn (2010)

<sup>60</sup> Ibid.

En utvinningsmetod som är anpassad för att få ut gas med låg syre- eller kvävehalt innebär ett lägre totalt gasflöde och troligtvis en lägre uttagseffektivitet. Det blir en balansgång mellan metanhalten i deponigasgas som utvinns och den andel av bildad metan som utvinns. En lägre uttagseffektivitet innebär att större andel av den bildade metangasen läcker ut till atmosfären och gör att deponin får en större miljöpåverkan. Det kan vara en förklaring till varför avfallsanläggningar i Sverige inte minimerar inläckage av luft genom att utvinna deponigas på samma sätt som på Island.

## 5.2 Uppgradering i USA

I USA praktiseras uppgradering av deponigas med membranseparation, PSA och skrubberteknik. Precis som på Island så avskiljs enbart koldioxid, systemen innefattar ingen syre- eller kväveavskiljning. Gasutvinningen utformas därför för att undvika inläckage av luft. Genom att gasen inte sugs ut lika hårt som i Sverige så är det möjligt att utvinna en deponigas med kvävehalt omkring 3 vol-% jämfört med den genomsnittliga kvävehalten på 18,5 vol-% som redovisas för ett antal svenska deponier i tabell 1.<sup>61</sup>

I vissa fall undviks kväveavskiljning genom att endast de innersta gasbrunnarna i deponin används till att utvinna deponigas för uppgradering. Det är större risk att luft läcker in till gasbrunnarna i deponins periferi och därför utvinns deponigas separat från dessa för en alternativ användning eller fackling.<sup>62</sup> Metoden möjliggör visserligen utvinning av deponigas med låg kvävehalt men minskar samtidigt mängden deponigas som uppgraderas. Från deponier i stor skala som i USA kan deponigasflödet från de inre gasbrunnarna fortfarande vara tillräckligt stort för att motivera en investering i uppgraderingsanläggning. Det är mer tveksamt om metoden är lämplig för deponier i den storlek som finns i Biogas Öst-regionen.

---

<sup>61</sup> Benjaminsson, Johan, Johansson, Nina & Karlsvärd, Johan (2010)

<sup>62</sup> Pierce, Jeffrey L. (2007)



## 6 Tillgänglig deponigas i regionen

I Biogas Öst-regionen finns 18 avfallsanläggningar som utvinner deponigas, var de är lokaliserade ses i figur 17 nedan.



Figur 17: Lokalisering av deponier med gasutvinning i regionen

Information om hur mycket deponigas som utvinns från varje deponi och vad deponigasen används till har hämtats från miljörapporterna för respektive avfallsanläggning. Eftersom miljörapporterna för ett visst år läggs drygt ett år i efterhand var det uppgifter från 2008 som fanns tillgängliga vid denna undersökning. I de fall relevanta data saknades i miljörapporterna har avfallsanläggningarna kontaktats för kompletterande information.

Erhållna uppgifter om utvunnen och använd deponigas är inte konsekvent uttryckta i volym eller energimängd. För att kunna summera regionens gasutvinning och gasanvändning har deponigasens genomsnittliga metanhalt och energivärdet för metan ( $9,97\text{kWh}/\text{Nm}^3$ )<sup>63</sup> använts för att härleda saknade uppgifter. Resultatet av undersökningen redovisas i tabell 5. Uppgifter saknas för Isätra och Annelunds avfallsanläggning.

Det bör kommenteras att Björkholmens Avfallsanläggning inte hade någon gasutvinning under 2008 men en ny gasstation togs i drift i oktober följande år. Den teoretiska mängden utvinningsbar deponigas är  $1\,000\,000\text{ Nm}^3/\text{år}$  och vid normal drift bör metanhalten ligga strax över 40 %. För tillfället facklas all deponigas från Björkholmen på grund av otillräcklig metanhalt (ca 29 %). Planer finns dock på att använda deponigasen för värmeproduktion i Rimbo Värmeverk.<sup>64</sup>

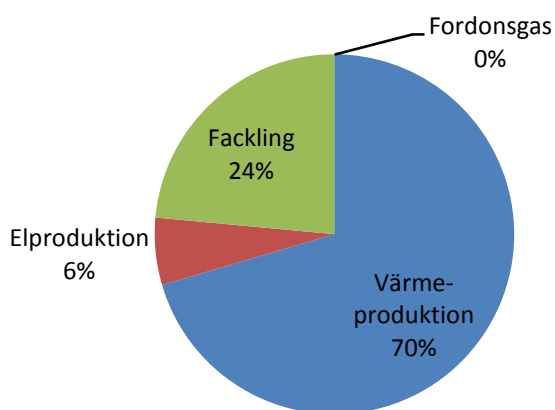
<sup>63</sup> *Energiinnehåll*. Energigas Sverige (2010)

<sup>64</sup> Dahlqvist, Peter (2010)

Tabell 5: Resultat från kartläggning av utvunnen deponigas och dess användning år 2008

Avfallsanläggning	Utvunnen deponigas (Nm <sup>3</sup> )	Metan-halt (vol-%)	Utvunnen deponigas (MWh)	Utvunnen metangas (Nm <sup>3</sup> )	Värme-produktion (MWh)	El-produktion (MWh)	Facklad deponigas (Nm <sup>3</sup> )
Högbytorp	5 500 000	45-55	27 418	2 612 500	36 364	0	1 040 000
Kovik	4 723 800	51	18 179	2 409 138	18 179	0	704 000
Gryta	3 520 000	54	19 139	1 900 800	10 191	4 652	797 949
Lilla Nyby	3 169 330	52	16 431	1 648 052	9 645	4 420	464 395
Atleverket	1 584 000	45-50	10 365	752 400	7 500	0	1 266 959
Sofielund	3 772 697	40	15 046	1 509 079	11 687	0	0
Häradsudden	2 348 600	54	12 644	1 268 244	0	0	2 348 600
Tveta	2 448 345	50	11 581	1 224 173	11 581	0	125 176
Björkholmen	1 000 000	40	3 988	400 000	3 031	0	240 000
Björshult	1 286 890	44-46	5 089	579 101	5 089	0	0
Högdala	428 400	50	2 136	214 200	0	0	428 400
Hagby	904 779	31	2796	280 481	2796	0	0
Löt	549 582	53-54	2 931	294 026	101	610	394 800
Mosserud	324 000	40	1 292	129 600	1 293	0	0
Venan	222 891	45	1000	100 301	1000	0	0
Brännbacken	184 700	40	1 000	73 880	0	0	184 700
<b>Summa</b>	<b>31 968 014</b>		<b>151 035</b>	<b>15 395 974</b>	<b>118 457</b>	<b>9 682</b>	<b>7 994 979</b>
	Härlett	Uppskattat värde	Härlett från uppskattning				

I dagsläget (juni 2010) produceras ingen fordonsgas från deponigas i Biogas Öst-regionen eller i övriga Sverige. Användningen av regionens deponigas år 2008 illustreras i figur 18 nedan. Den största delen insamlad deponigas bränns i gaspanna för att försörja avfallsanläggningen med värme och/eller används till fjärrvärme. En mindre del av deponigasen förbränns i gasmotorer för elproduktion.



Figur 18: Användning av deponigas i Biogas Öst-regionen 2008

Fackling sker när den utvunna gasen inte har tillräckligt hög metanhalt eller då det är driftstopp i systemet som annars tillvaratar gasen. Där deponigasen används till värmeproduktion kan fackling också ske sommartid på grund av lågt värmebehov.

Undersökningen visar att det i regionen totalt utvanns ca 32 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas motsvarande 151 GWh år 2008 (se tabell 5). I rapporten *Produktion och användning av biogas år 2008* från Energimyndigheten redovisas deponigasproduktion länsvis för hela Sverige. Summeras produktionen i de län som ingår i Biogas Öst-regionen fås 151 GWh (se tabell 6), vilket överensstämmer med undersökningens resultat.

Tabell 6: Regionens deponigasproduktion år 2008<sup>65</sup>

<i><b>Län</b></i>	<i><b>Antal deponier med gasutvinning</b></i>	<i><b>Deponigas-produktion 2008* (GWh)</b></i>
Stockholm	9	89
Södermanland	2	22
Uppsala	1	1
Västmanland	2	20
Örebro	3	7
Östergötland	1	12
<b>Summa</b>	<b>18</b>	<b>151</b>

*\*Produktion och användning av biogas år 2008, ES2010:01, s.21 (Energimyndigheten 2010)*

<sup>65</sup> *Produktion och användning av biogas år 2008, ES2010:01, s.21 (Energimyndigheten 2010)*

## 7 Kriterier för potentiell produktion av fordonsgas

Begränsningen för hur mycket av regionens tillgängliga deponigas som kan användas till fordonsgas utgörs främst av ekonomiska förhållanden. I detta kapitel beskrivs faktorer som påverkar möjligheten för en avfallsanläggning att uppgradera deponigas. Begränsningar diskuteras för hur långt deponin kan ligga från en möjlig avsättning för fordonsgas och vad som kan vara en minsta mängd deponigas som är intressant att uppgradera.

### 7.1 Tillräckligt gasflöde

Investeringskostnaden i förhållande till den möjliga produktionen av fordonsgas är en viktig faktor för bedömningen om ett projekt ska vara ekonomiskt intressant. En studie utförd av Svenskt Gastekniskt Center (SGC) från 2003 visar att ju mindre rågasflöde som ska uppgraderas desto större blir investeringskostnaden för en uppgraderingsanläggning i förhållande till dess kapacitet.<sup>66</sup> Studien innefattade uppgraderingsanläggningar för rötningsanläggningar som är mer långsiktiga källor för biogas än deponier. Investering i uppgradering av rötgas kan därför tillåtas ha en längre återbetalningstid än för uppgradering av deponigas.

Det finns inga tekniska hinder för uppgradering av deponigas i liten skala, men storskaliga projekt är mer ekonomiskt fördelaktiga.<sup>67</sup> För att en avfallsanläggning ska ha potential att producera fordonsgas krävs alltså att gasutvinningen från deponin är tillräckligt stor men det är svårt att fastställa en generell gräns för *hur* stor den bör vara. Det är inte bara mängden deponigas utan även dess sammansättning som avgör hur mycket fordonsgas som kan produceras och till vilken kostnad. De ekonomiska förutsättningarna för uppgradering beror även på det rådande försäljningspriset för el, värme respektive fordonsgas. För en utförlig analys av detta hänvisas till rapporten *Deponigas som fordonsbränsle*, Johan Benjaminsson et al. (2010).

Ett exempel på en leverantör av uppgraderingsteknik med PSA är det amerikanska företaget Guild Associates. En investering i ett system med deras teknik, från gasbrunn till komprimerad fordonsgas är i storleksordningen 5 000 000 USD eller ca 40 000 000 SEK. I USA förväntas ett avfallsupplag producera 2 000 Nm<sup>3</sup>/h eller 17 500 000 Nm<sup>3</sup>/år rågas innan ett uppgraderingsprojekt kan bli ekonomiskt intressant.<sup>68</sup> Detta motsvarar ungefär den mängd deponigas som utvinns från samtliga nio deponier i Stockholms län tillsammans. Leverantörens system är uppenbarligen anpassat för större skala på enskilda avfallsupplag än vad som finns i Biogas Öst-regionen. De ekonomiska förutsättningarna är dock annorlunda i Sverige än i USA och det är mycket möjligt att riktvärdet från Guild Associates inte är relevant för avfallsanläggningarna som innefattas av studien.

Terracastus Technologies är leverantörer av en anläggning med kryoteknik som är planerad att byggas i Helsingborg för uppgradering av deponigas från Filbornadeponin. Denna anläggning ska ha en kapacitet på 150 GWh/år och den totala investeringskostnaden

---

<sup>66</sup> Persson, Margareta (2003)

<sup>67</sup> Johansson, Tomas (2010)

<sup>68</sup> Mitariten, Michael (2010)



inklusive byggnation uppges vara ca 150 miljoner kronor.<sup>69</sup> Enligt Tomas Johansson, Business Development Mgr, Terracastus Technologies, finns det ingen begränsning för hur liten skala på uppgraderingsanläggning de kan leverera. För att det ska gå att hitta finansiärer av ett projekt uppges dock ett riktvärde vara ett minimumflöde på 1 000 Nm<sup>3</sup>/h (8,75 miljoner Nm<sup>3</sup>/år). Ingen av deponierna i Biogas Öst-regionen hade en gasutvinning som uppnådde det riktvärdet år 2008.

Scandinavian GtS erbjuder uppgraderingsteknik med kryoteknik och deras minsta aggregat har en kapacitet att uppgradera ett deponigasflöde på 120 Nm<sup>3</sup>/h. Detta flöde bedöms vara gräns för vad som kan vara ekonomiskt intressant och det motsvarar ett årligt deponigasuttag på ca 1,05 miljoner Nm<sup>3</sup>.<sup>70</sup> 2008 hade sju av regionens deponier en gasutvinning över denna nivå. En sammanfattning av nämnda riktvärden presenteras i tabell 7.

Tabell 7: Riktvärden för minsta deponigasflöde som är intressant att uppgradera

<i>Källa</i>	<i>Minsta rågasflöde för att uppgradering ska vara ekonomiskt intressant (Nm<sup>3</sup>/år)</i>	<i>Kväveavskiljning</i>
Guild Associates	17 500 000	PSA
Terracastus Technologies	8 750 000	Kryoteknik
Scandinavian GtS	1 050 000	Kryoteknik

## 7.2 Avsättningsmöjlighet

Deponins lokalisering avgör kostnaden för distribution av producerad fordonsgas. Det måste därför finnas möjlig avsättning för fordonsgas inom rimligt avstånd från avfallsanläggningen. Deponier och tankställen för fordonsgas i regionen är markerade på kartan i figur 19.

Uppgraderad biogas kan distribueras via rörledningar eller med flakning, det vill säga transport av komprimerad eller flytande gas i tankar på tåg eller lastbil som i figur 20. Generellt sett är stora gasmängder fördelaktigt att distribuera via gasledning och mindre gasmängder är lämpligast att flaka.<sup>71</sup> Eftersom en deponi utgör en avtagande källa till biogas är det dock tveksamt om det är värt att investera i infrastruktur för distribution av deponigas. Att anlägga en gasledning kostar ca 500 kr/m på landsbygd och ca 1500 kr/m i bebyggd miljö.<sup>72</sup>

<sup>69</sup> Johansson, Tomas (2010)

<sup>70</sup> Kättström, Hans (2010)

<sup>71</sup> Gäverud et al. (2009)

<sup>72</sup> Forsberg, Jonas (2009)



Figur 19: Lokalisering av deponier (grön markering) och tankställen för fordonsgas

Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) anger fem mil som den längsta transportsträckan som är ekonomisk försvarbar för flakning av uppgraderad biogas.<sup>73</sup> Utifrån detta riktvärde visar lokaliseringen av deponier och tankstationer för fordonsgas att 16 av regionens 18 deponier med gasutvinning ligger inom rimligt avstånd från en möjlig avsättning för fordonsgas.

Idag sker flakning av fordonsgas från Örebro till Stockholm, vilket är nära 20 mil. Under rådande omständigheter kan det alltså vara attraktivt att transportera fordonsgas längre sträckor än de fem mil som LRF angett som riktvärde.

<sup>73</sup> *Biogas på gården – en introduktion*. LRF



Figur 20: Transport av fordonsgas med flakning.<sup>74</sup> (Foto: Nils-Olof Sjödén)

### 7.3 Lokala förutsättningar

Förutom den tillgängliga mängden deponigas så är avfallsanläggningarnas lokala förutsättningar avgörande för deras potential att producera fordonsgas. Här nedan listas faktorer som påverkar vad som är teknisk möjligt och ekonomisk intressant för uppgradering av deponigas.

**Gasens sammansättning;** En hög metanhalt och låg andel föroreningar ger bra förutsättningar för en effektiv rening. Speciellt andelen kväve är avgörande eftersom separation av kväve är det mest kostsamma steget i reningsprocessen. Det beror på att de fysikaliska egenskaperna för kväve liknar de för metan, vilket gör det svårt att rena deponigasen från kväve utan att få metanförluster<sup>75</sup>.

**System för gasutvinning;** Utformningen på gasutvinningssystemet är avgörande för vilken andel man faktiskt samlar in av den deponigas som produceras. Ledningsbrott och vattenlås är vanliga problem som uppstår i äldre gasbrunnar<sup>76</sup>. Antal brunnar och dess ålder, placering av gasbrunnar och reglerstation samt dräneringssystem påverkar uttagseffektiviteten.

**Nuvarande användning av deponigasen;** Den nuvarande användningen av utvunnen gas påverkar de ekonomiska förutsättningarna för eventuell investering i en uppgraderingsanläggning. Värdeökningen för deponigasen då den uppgraderas måste vägas mot kostnaden för en förändrad gasanvändning.

*Endast fackling;* Att deponigas endast facklas är ovanligt och sker bara om avfallsupplaget inte producerar någon betydande mängd deponigas eller om metanhalten är för låg för att energiutvinning ska vara möjligt (se deponeringsförordningen i avsnitt 2.1). Även om en omställning från fackling till uppgradering skulle ge en högre inkomst från deponigasen så

<sup>74</sup> Fordonsgas Sverige AB

<sup>75</sup> Benjaminsson, Johan, Johansson, Nina & Karlsvärd, Johan (2010)

<sup>76</sup> Meijer, Jan-Erik (2007) se Thedéen, Karin (2007) s. 6

är produktionen av metangas i deponin troligtvis för låg för att motivera en investering i uppgraderingsanläggning.

*Fjärrvärme;* Om deponigasen används till fjärrvärmeproduktion är investeringar gjorda i dragna gasledningar från avfallsanläggningen och detta kan vara ett argument för att fortsätta med denna användning. Värmeproduktion från deponigas kan dock innebära att deponigas facklas bort under sommartid då behovet av fjärrvärme är lågt. Om så är fallet finns potential till bättre energimässigt och ekonomiskt utnyttjande av deponigasen om den uppgraderas till fordonsgas eftersom det ger en avkastning året om.

*Kraftvärme;* Investering i en gasmotor för elproduktion är i regel mindre än för utbyggnad av distribution vid användning till fjärrvärme. Detta innebär att det kan vara mer motiverat att göra en omställning av gasanvändningen från kraftvärme. Det är då främst elpriset och priset på fordonsgas som är avgörande för vilken gasanvändning som är mest ekonomiskt intressant. Fördelen med produktion av fordonsgas är att det är ett bättre energiutnyttjande året runt, till skillnad från kraftvärmeproduktion som ofta ger ett värmeöverskott sommartid.



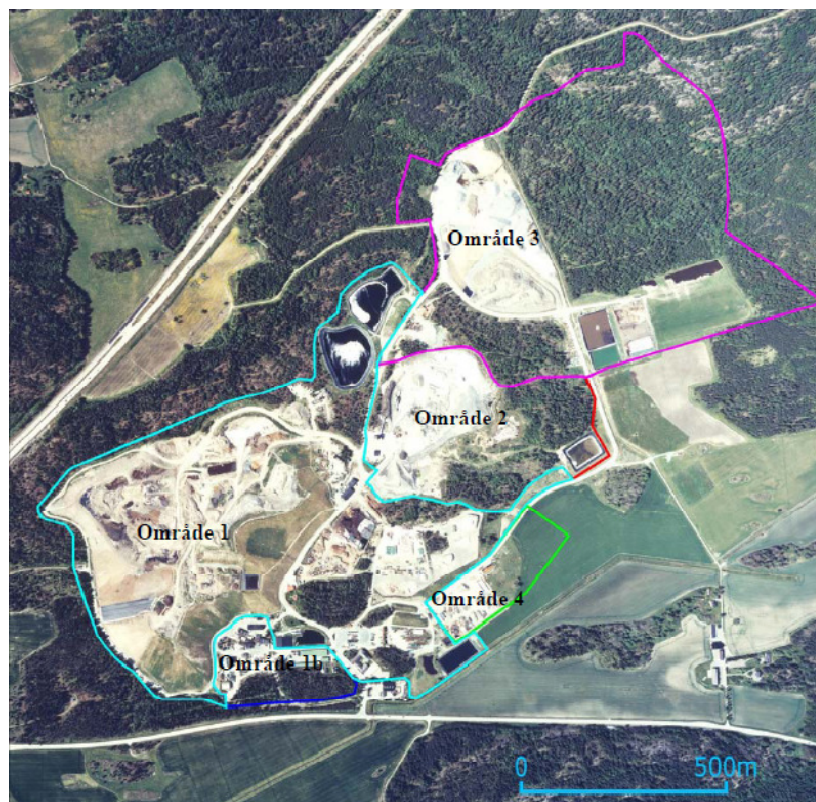
## 8 Potential för enskilda avfallsanläggningar

För att en uppgraderingsanläggning ska vara ekonomiskt intressant för en avfallsanläggning måste gasflödet vara tillräckligt stort. Men intresset beror även på avfallsanläggningarnas lokala förutsättningar. I följande avsnitt görs en närmare studie av lokala förutsättningar och intresse för uppgradering av deponigasen vid de åtta avfallsanläggningar som har störst gasutvinning i regionen.

### 8.1 Högbysörp

Högbysörp avfallsanläggning ligger i Upplands-Bro kommun och drivs av Ragn-Sells Avfallsbehandling. Deponin anlades 1964 och är idag en av de största i Sverige. Det mesta avfallet som läggs på deponin idag är industri- och byggavfall såsom tegel, mineralull och förorenad jord. Hushållsavfall går mer och mer till förbränning. Totalt tar anläggningen emot ca 700 000 ton avfall årligen.<sup>77</sup>

Avfallsanläggningen är uppdelad i fyra områden, se figur 21 nedan. I område 1 finns en deponi på 27 hektar, och ur denna har gasutvinning skett sedan 1988. Gasen användes för intern värmeproduktion och för fjärrvärme i det närliggande Bro samhälle. Under 2008 utvanns totalt 5 500 000 Nm<sup>3</sup> rågas varav nästan en femtedel facklades bort.<sup>78</sup> I dagsläget används även gas för att kyla anläggningens kontorslokal på sommaren, och mängden gas som måste facklas bort är något lägre.<sup>79</sup>



Figur 21: Områdesindelning av Högbysörps avfallsanläggning (Ragn-Sells Avfallsbehandling 2009)

<sup>77</sup> Stockholm/Högbysörp. Ragn-Sells (2010)

<sup>78</sup> Miljörapport för år 2008 Högbysörps avfallsanläggning, bilaga 1, s.30 (Ragn-Sells, 2009)

<sup>79</sup> Trobell, Kent (2010)

Uttaget av gas styrs med ett antal reglerstationer inom deponiområdet. I reglerstationerna finns totalt ca 200 uttagsventiler där gasens metanhalt kan mätas. Gasens sammansättning är i genomsnitt 45-55% metan, 20-25% kväve och 20-25% koldioxid. Dessa halter påverkas av hur snabbt gasen tas ur deponin. Gasflöden regleras med målet att hålla en så jämn metanhalt som möjligt för att få en optimal förbränning i gaspannorna.<sup>80</sup>

Område 2 innefattar en deponi på 13 hektar, men ur denna utvinns ingen deponigas. Deponin innehåller främst aska vilket inte ger upphov till metangasbildning. Deponin på område 3 har inte tagit emot något organiskt avfall och därför bildas ingen metangas som skulle motivera gasutvinning därifrån.

På anläggningen produceras även biogas i en rötningsanläggning. Där rötas matrester från restauranger och rötgasen används liksom deponigasen till värmeproduktion.

Kent Trobell, avdelningschef på Ragn-Sells Avfallsbehandling, uppger att möjligheten till alternativ användning av deponigasen såsom elproduktion eller uppgradering till fordonsgas har diskuterats, men att det inte finns några planer på fortsatta utredningar. Det största hindret för uppgradering av biogasen till fordonsbränsle uppgavs vara av teknisk karaktär.

## 8.2 Koviks avfallsanläggning

Koviks avfallsanläggning ligger i Gustavsberg, sydost om Stockholm. Anläggningen drivs av Sita Sverige AB och har tagit emot avfall sedan 1960-talet. Deponin upptar ca 19 hektar och den deponigas som utvinns används till värmeproduktion för anläggningen och fjärrvärme i Gustavsberg.

Deponigas från Koviks avfallsanläggning står för uppvärmning av 2 000 lägenheter per år. Under sommartid då värmebehovet är som lägst så facklas en del av gasen bort. Under 2008 utvanns 4 723 800 Nm<sup>3</sup> och 15 % av detta facklades vid otillräcklig metanhalt och på grund av driftstopp vid underhåll.<sup>81</sup>

Under 2008 hade deponigasen en sammansättning på i genomsnitt 51 vol-% metan och 14 vol-% kväve. Sedan år 2000 har årsmedelvärdet för kvävehalten varierat mellan 12 och 21,9 vol-%.<sup>82</sup>

Mängden producerad deponigas tros vara konstant några år framöver, men beräknas därefter minska på grund av bristen på organiskt material. Magdalena Westerberg, behandlingsansvarig på Koviks avfallsanläggning uppger att det inte finns några planer på att uppgradera deponigasen, men inte heller några självklara hinder eller invändningar emot det.

---

<sup>80</sup> Trobell, Kent (2010)

<sup>81</sup> SITA Sverige AB (2009)

<sup>82</sup> Miljörapport år 2008, Koviks Återvinningsanläggning, bilaga 1, s.2 (SITA Sverige AB 2009).

### 8.3 Gryta avfallsanläggning

Gryta avfallsstation ligger strax norr om Västerås och drivs av VafabMiljö AB. Där finns bland annat en deponi som anlades 1969 och avslutades år 2008. I samband med detta grundades en ny deponi som uppfyllde alla miljökrav och som togs i drift 2009. Undantag har getts från förbudet av deponering av organiskt material, så den nya deponin tar fortfarande emot vissa mängder. Målet är att den inte ska bilda någon metangas men framtiden får utvisa om gasutvinning behövs.<sup>83</sup>

Totalt uppgår deponeringsytan på Gryta avfallsstation till ca 50 hektar, men det är bara från det äldre avfallsupplaget som deponigas utvinns. Inom området för den gamla deponin finns en cell för farligt avfall. Det organiska material som deponeras där är i form av kontaminerade jordmassor. Eftersom jorden förbehandlas innan den deponeras så bildar den ingen metangas och därför behövs ingen gasutvinning sker från cellen<sup>84</sup>

Gasutvinning har skett på Gryta avfallsstation sedan 1986 och gasen används i dagsläget till el- och värmeproduktion. År 2008 utvanns 3 520 000 Nm<sup>3</sup> deponigas med en genomsnittlig metanhalt på 54 vol-%.<sup>85</sup> Deponigasen levererades till Mälarenergi som med gaspanna och gasmotor producerade 4 752 MWh el och 10 191 MWh värme 2008. Det innefattar Mälarenergis interna bruk, värme till fjärrvärmenätet och el som skickades ut på Mälarenergis elnät.<sup>86</sup> Vid driftstopp facklas deponigasen för att bibehålla ett undertryck i deponin. Hur mycket deponigas som facklades under 2008 är okänt, men facklan var i drift i sammanlagt 1154 timmar.<sup>87</sup>

Inom området för Gryta avfallsstation ligger sedan år 2005 en rötningsanläggning. Rötgasen uppgraderas till fordonsgas i en närliggande anläggning där även biogas från avloppsreningsverket i Västerås uppgraderas.<sup>88</sup> För tillfället körs bland annat 40 stadsbussar och 14 sopbilar i Västerås på gas från anläggningen. Överskott av fordonsgas säljs till tankstationer i Stockholmstrakten.<sup>89</sup> Västmanlands Lokaltrafik (VL) har planer på att öka antalet bussar som drivs på biogas till 140 stycken år 2020. För att möta den förväntade efterfrågan måste Svensk Växtkraft öka den levererade mängden fordonsgas från dagens ca 3 miljoner till ca 8 miljoner Nm<sup>3</sup>.

För tillfället pågår utredningar om alternativa utbyggnader av biogasanläggningen på Gryta Avfallsstation för att kunna möta den ökade efterfrågan på fordonsgas. En möjlighet vore att även uppgradera deponigas. Torbjörn Strömberg, projektledare på Svensk Växtkraft anser att den tillgängliga mängden deponigas kan ge ett betydande bidrag, även om volymerna kommer minska med tiden. Dagens uppgraderingssystem med vattenskrubber skulle då behöva kompletteras med förbehandling av deponigasen med kryoteknik. De olika förslagen på utbyggnad av biogasanläggningen kommer att presenteras under sommaren 2010.

---

<sup>83</sup> Lindkvist, Anna (2010)

<sup>84</sup> Persson, Per-Erik (2010)

<sup>85</sup> VafabMiljö (2008)

<sup>86</sup> Lindkvist, Anna (2010)

<sup>87</sup> Ibid.

<sup>88</sup> VafabMiljö (2006)

<sup>89</sup> Olsson, Lasse (2010)

## 8.4 Atleverkets avfallsanläggning

Atleverkets avfallsanläggning ligger sju kilometer söder om Örebro. Deponin anlades 1978 och upptar idag en yta på ca 22 hektar. Ett flygfoto över anläggningen ses i figur 22. Mottaget avfall som ska deponeras jämnas ut och kompakteras till avgränsade områden av den aktiva deponiytan, så kallade pallar. Fram till 1990-talet maldes en del av det deponerade avfallet vilket ökar reaktionsytan och därmed nedbrytningshastigheten av det organiska avfallet.<sup>90</sup>



Figur 22: Atleverkets avfallsanläggning (Tekniska förvaltningen Örebro kommun, 2010)

Deponigas började utvinnas vid Atleverket år 1992. Sedan dess har gasbrunnar tagits ur drift och nya borrats i flera omgångar, främst för att vattenlås har varit ett problem. 2007 fanns 70-75 gasbrunnar i drift med ett snittdjup på 15 meter. Samma år installerades en ny reglerstation dit gasen från brunnarna sugas. För att minska risken för vattenlås i ledningarna placerades den nya reglerstationen vid kanten av deponin i stället för på toppen som den gamla. Ett dräneringssystem för bort vatten som följer med gasen innan den når reglerstationen. Det nya reglersystemet var automatreglerat för att mängden utvunnen deponigas och dess metanhalt skulle öka, men systemet hade vissa inkörningsproblem som fortsatte under år 2008. Under året utvanns ca 1 584 000 Nm<sup>3</sup> deponigas.<sup>91</sup>

Halten metan i den utvunna deponigasen varierar från brunn till brunn och från dag till dag. I genomsnitt låg metanhalten på 45-50 vol-% år 2007.<sup>92</sup> Gasen försörjer Atleverkets avfallsanläggning med värme samt säljs för värmeproduktion till Scan AB, Skebäckverket

<sup>90</sup> Thedéen, Karin (2007)

<sup>91</sup> Kempf, Michael (2010)

<sup>92</sup> Thedéen, Karin (2007)



och till Örebro Akademiska Sjukhus. År 2008 såldes deponigas motsvarande 5 888 MWh och ca 6 000 MWh facklades.<sup>93</sup>

Karin Karlsson, utredningsingenjör på Atleverket, anser att uppgradering av deponigasen till fordonsgas skulle vara svårt att räkna hem. Då gasproduktionen kommer att minska kommer endast avfallsanläggningens värmebehov att täckas i framtiden. Gasutvinningen planeras fortsätta i 30 år till, trots att det kanske inte kommer vara ekonomiskt intressant är det ändå önskvärt ur miljösynpunkt.<sup>94</sup>

## 8.5 Sofielunds Återvinningsanläggning

Sofielunds Återvinningsanläggning ligger i Huddinge och drivs av SRV Återvinning AB. Anläggningen omfattar tre deponiområden som tillsammans upptar 70 hektar. Den första deponin togs i drift 1939 och är sluttäckt sedan 1977. Året efter togs den andra deponin i drift, vilken var aktiv fram till årsskiftet 2006/2007. Från båda dessa deponier utvinns nu gas genom vertikalt borrhålls ledningar. Sedan 1991 har gasen förts genom en 1,6 mil lång ledning till Skogås värmeverk och använts till fjärrvärme.<sup>95</sup> All gas går till fjärrvärme, även sommartid. Ingen fackling sker såvida det inte uppstår något oväntat driftavbrott. Under 2008 utvanns 3 772 697 Nm<sup>3</sup> deponigas med en metanhalt på ca 40 %.<sup>96</sup>

Den tredje deponin på Sofielunds Återvinningsanläggning är i drift sedan 2005. Där sker ingen gasutvinning och det finns heller inga planer på att göra det eftersom ingenting som kan producera metangas har deponeras eller kommer att deponeras där.<sup>97</sup>

Enligt Sture Jägerup, driftansvarig för Sofielunds Återvinningsanläggning, är det ingen idé att uppgradera deponigasen eftersom det skulle kosta för mycket. Gasflödet uppges vara för lågt och deponigasen ha för låg metanhalt.

## 8.6 Lilla Nyby Återvinningscentral

Strax sydöst om Eskilstuna ligger Lilla Nyby Återvinningscentral som drivs av Eskilstuna Energi & Miljö AB. Deponin anlades 1958 och anläggning täcker idag 33 hektar. Lilla Nyby tar inte längre emot avfall för deponering och arbete pågår med sluttäckning av deponin.<sup>98</sup>

Ett utvinningssystem för deponigas har varit i drift sedan 1988 och har byggts ut i etapper i takt med att deponin utvidgats. Deponigasen förbränns i en gaspanna som försörjer byggnader på anläggningen med värme. Den resterande deponigasen leds till ett närliggande bostadsområde (Viptorp, ca 1 km bort) där den driver en gasmotor för värme- och elproduktion. Under 2008 utvanns 3 169 330 Nm<sup>3</sup> varav ca 15 % facklades bort.<sup>99</sup>

---

<sup>93</sup> Tekniska Förvaltningen Örebro (2010)

<sup>94</sup> Karlsson, Karin (2010)

<sup>95</sup> Södertörns Fjärrvärme (2008)

<sup>96</sup> *Miljörapport Sofielunds Återvinningsanläggning 2008*, s.30. (SRV Återvinning 2009).

<sup>97</sup> Jägerup, Sture (2010)

<sup>98</sup> Eskilstuna Energi och Miljö (2010)

<sup>99</sup> Ibid.

Deponigasen har en genomsnittlig metanhalt på 52 % och kvävehalt som varierar kring 10 %.<sup>100</sup>

Alternativet att installera en ny gasmotor har övervägts men nackdelen anses vara att det medför överproduktion av värme sommartid. Därför finns nu långtgående planer på att installera en uppgraderingsanläggning för deponigasen på Lilla Nyby. Uppgraderingen kommer då ske med kryoteknik och den är planerad att tas i drift under 2011.<sup>101</sup> Mikael Johansson, Utredningsingenjör på Eskilstuna Energi & Miljö AB, anser att det främsta argumentet för att ändra användningen av deponigasen är för att öka tillgången på fordonsgas.

Gasflöde, undertryck och metanhalt mäts dagligen vid deponin. Gasutvinningssystemet regleras kontinuerligt för att få högsta möjliga gasuttagseffektivitet. Beräkningar har gjorts för den förmodade produktionen av metangas, och detta jämförs med den faktiska mängden utvunnen metangas. I miljörapporten (2008) för Lilla Nyby Återvinningscentral anges målet att erhålla minsta möjliga metanläckage från deponin.

På Lilla Nyby finns en biomasseanläggning som förbehandlar matavfall och delar upp den i torr respektive flytande fraktion. Den torra fraktionen komposteras på Lilla Nyby medan den flytande fraktionen förs till Ekeby reningsverk där den rötas tillsammans med avloppsresterna. Rötgasen renas till fordonsgas med skrubberteknik och skickas via pipeline till tankställen i Eskilstuna. På grund av deponigasens kväveinnehåll har alternativet att uppgradera den på Ekeby reningsverk inte ansetts fördelaktigt i jämförelse med att installera en separat anläggning med kryoteknik på Lilla Nyby.

## 8.7 Tveta Återvinningsanläggning

Sydväst om Södertälje ligger Tveta Återvinningsanläggning som ägs och drivs av Telge Återvinning. Ett flygfoto av anläggningen ses i figur 23. Deponin för hushållsavfall avslutades 2008 och är nu sluttäckt. Deponigas utvinns genom 16 vertikala brunnar som är nedborrade i deponin. Nära ytan ligger dessutom ett horisontellt nät av 1000 m gasrör.

I Södertälje har man ett system med gröna plastpåsar som delas ut till hushållen för utsortering av matavfall. Dessa körs tillsammans med de vanliga påsarna för brännbart avfall till Tveta Återvinningsanläggning. Där sorteras de gröna påsarna ut i en optisk sorteringsanläggning. Matavfallet förbehandlas på anläggningen till en pumpbar biomassa som transporteras till SYVABs vattenreningsanläggning på Himmelfjärdsverket. Där sker sedan rötning och uppgradering till fordonsgas.

---

<sup>100</sup> Johansson, Mikael (2010)

<sup>101</sup> Ibid.



Figur 23: Tveta Återvinningsanläggning (Telge Återvinning 2009)

När de gröna påsarna sorterats ut läggs ”restpåsarna” i så kallade bioceller. I en biocell omsluts avfallet av en tät duk, och gasbrunnar byggs in successivt allt eftersom biocellen fylls med avfall. När biocellerna anlades var tanken att deponigas skulle utvinnas från dessa och att de skulle grävas ut efter 3 år. Idag är biocellerna dock deponiklassade och planeras inte längre att grävas ur. Gasutvinning från dem sker kontinuerligt.

Insamlad deponigas komprimeras och förs via sju kilometer gasledning till Järna panncentral. År 2008 levererades 2 500 000 Nm<sup>3</sup> deponigas motsvarande 11 581 MWh till Järna panncentral och 624 MWh facklades bort.<sup>102</sup>

Enligt Anette Wästlund, chef för biologisk behandling på Telge Återvinning, har en förstudie genomförts för att utreda möjligheten att använda deponigasen till annat än fjärrvärme. Studien gjordes i samarbete med SL och Sweco i syfte att utreda möjligheten till att bygga en pilotanläggning för uppgradering av deponigas till fordonsgas på Tveta Återvinningsanläggning.<sup>103</sup> I dagsläget finns inga planer på uppgradering av deponigasen till fordonbränsle, men alternativet är inte heller uteslutet. Största motivet till att finna en alternativ användning för deponigasen är att stora mängder deponigas facklas bort sommartid då den inte behövs till fjärrvärme. Ett annat alternativ som utreds för tillfället är att installera en gasmotor på Tveta Återvinningsanläggning för egenförsörjning av el.

## 8.8 Häradsuddens avfallsanläggning

Häradsuddens avfallsanläggning ligger drygt en mil sydväst om Norrköping. Verksamheten påbörjades 1977 och drivs sedan 1992 av Econova Biotech AB. Under 2008 insamlades 2 348 600 Nm<sup>3</sup> deponigas med en genomsnittlig metanhalt på 54 %.<sup>104</sup> Fram till och med

<sup>102</sup> *Telge Återvinning Miljörapport 2008*, textdel s.8. (Telge Återvinning 2009).

<sup>103</sup> Telge Återvinning (2009)

<sup>104</sup> *Miljörapport 2008 för Econova Biotech ABs verksamhet på Häradsuddens avfallsanläggning i Norrköpings kommun*, textdel 1, s.22. (Econova Biotech 2009)

2008 facklades all insamlad deponigas från Häradsudden. I dagsläget används gasen för elproduktion i tre mikroturbiner på anläggningen. Under 2009 utvanns ca 1 650 000 Nm<sup>3</sup> gas med en metanhalt på ca 55 %, vilket gav en elproduktion på ca 9,08 GWh.<sup>105</sup>

Enligt Malin Asplund, Miljö och utveckling på Econova, är elproduktion inte det mest energieffektiva utnyttjandet av deponigasen. Asplund ser dock både miljömässiga och ekonomiska fördelar med alternativet att producera fordonsgas. Det finns därför planer på att sälja gasen till Norrköpings kommun för uppgradering till fordonsgas som alternativ till den nuvarande elproduktionen.

Tanken är att deponigasen ska uppgraderas tillsammans med rötgas i en biogasanläggning som kan komma att byggas av Norrköpings kommun i anslutning till Häradsuddens avfallsanläggning. Tekniken som verkar mest aktuell är kryoteknik, men det är inte helt fastställt. Planerna hänger på om kommunen godkänner byggandet av biogasanläggningen, ett beslut väntas tas under sommaren 2010. Om det går enligt planerna kan deponigasen börja uppgraderas till fordonsgas tidigast under sommaren 2011.<sup>106</sup>

---

<sup>105</sup> Asplund, Malin (2010)

<sup>106</sup> Ibid.

## 9 Prognos för metanproduktion

För att avgöra om produktion av fordonsgas vid en avfallsanläggning kan vara ekonomiskt intressant så måste produktionen av deponigas uppskattas för en tid framåt. Det finns en mängd olika metoder och modeller för att göra prognoser för metanbildningen i avfallsupplag. I detta kapitel redogörs för en av dessa modeller som rekommenderas av IPCC. För att exemplifiera modellens funktion tillämpas den i följande avsnitt på deponin vid Atleverkets avfallsanläggning. Att just denna deponi valdes berodde på att Atleverket kunde tillhandahålla den detaljerade information om deponerat avfall som behövdes för modellens uppbyggnad.

### 9.1 Val av metod

Nedbrytning av materialet i deponierna sker i kedjereaktioner och parallella reaktioner drivna av mikroorganismer. Dessa påverkas av faktorer som fukthalt och temperatur i deponin, materialets sammansättning samt omgivande material. Till exempel kan rivningsavfall hämma bildning av metangas om det finns järnsulfat i deponerade betongmassor. Mikroorganismer som reducerar sulfat konkurrerar då om substratet med mikroorganismer som producerar metan.<sup>107</sup> Om alla faktorer togs med i beräkningarna skulle modellen för nedbrytningsprocessen bli ohanterligt komplex. Därför är det lämpligt att förenkla processen, vilket kan göras som en First Order Decay-modell (FOD).

Ett exempel på en FOD-modell är den som rekommenderas av FN:s klimatpanel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC).<sup>108</sup> Modellen är allmänt accepterad och vida tillämpad, vilket är anledningen till att metoden valts för denna undersökning.

IPCC-modellen är ursprungligen utformad för att beräkna metanemissioner från ett lands samtliga deponier.<sup>109</sup> I följande tillämpning har modellen anpassats för att ge en prognos av metanproduktionen för en enskild deponi. Liknande anpassning har gjorts i tidigare undersökningar och tillämpats på svenska deponier.<sup>110</sup>

### 9.2 IPCC-modellens utgångspunkt

Utgångspunkten för modellen är att organiskt material bryts ned i en långsam process under bildandet av koldioxid och metan. Nedbrytningstakten beror endast på mängden kol som finns kvar i materialet, under förutsättning att de omgivande faktorerna är konstanta. Tidpunkten då avfallet deponerades är alltså inte avgörande för den producerade mängden metan varje år. Det är bara mängden reaktivt material som finns i deponin under respektive år som spelar roll<sup>111</sup>. Processen följer då ett exponentiellt avtagande enligt ekvation (3) nedan som beskrivs av Börjesson et al (2009, s.2).

---

<sup>107</sup> Thedeén, Karin (2007)

<sup>108</sup> IPCC (2006).

<sup>109</sup> Börjesson et.al. (2009)

<sup>110</sup> Se exempelvis *Gaspotentialen i en deponi, idag och i en framtid* av Karin Thedeén, 2007 eller *A national landfill methane budget for Sweden based on field measurements, and an evaluation of IPCC models* av Börjesson et al.

<sup>111</sup> IPCC (2006).

$$C_t = C_0 e^{-kt}, \quad (3)$$

$C_t$ : koncentrationen av organiskt material vid tidpunkt  $t$

$C_0$ : begynnelsekoncentrationen av organiskt material

$k$ : konstant som beror på materialets halveringstid, vilken diskuteras i avsnittet *Val av parametervärden*

Olika avfallsfraktioner besitter olika potential till metanbildning. Detta beror på avfallets varierande andel löst organiskt kol (DOC). Mottagna avfallsmängder på Atleverket har delats upp i kategorier, och för varje kategori har värdet på DOC satts enligt tabell 8 nedan.

Tabell 8: Andel löst organiskt kol (DOC) i olika avfallsfraktioner<sup>112</sup>

<i>Avfallsfraktion</i>	<i>DOC</i>
Hushållsavfall	0,201
Industriavfall	0,156
Byggavfall	0,035
Rivningsavfall	0,035
Rötslam	0,25
Sorteringsrester	0,1-0,3
Gallerrens	0,19-0,38
Framtida avfall	0,1

### 9.3 Parametervärden och indata

En sammanställning av modellens parametrar och antaget värde i prognosen för Atleverket ses i tabell 9 nedan.

Tabell 9: Ingående parametervärden

<i>Parameter</i>	<i>Förklaring</i>	<i>Möjligt intervall för parameterns värde*</i>	<i>Antaget värde i modell för Atleverket</i>
DOCf	Andel av gaspotentialen som realiseras i metan	0,5-0,77	0,5
MCF	Justeringsfaktor för hur avfallet hanteras	0,4-1	1
$t_{1/2}$ (år)	Halveringstid för nedbrytningen	4-14	7,5
F	Metanhalt i bildad (ej utvunnen) deponigas	0,45-0,55	0,5

\*Enligt riktlinjer från IPCC 2006

<sup>112</sup> Karlsson, Karin (2010)

### **Halveringstid ( $t_{1/2}$ )**

Hur snabbt det organiska avfallet bryts ned representeras av parametern  $t_{1/2}$  som anger halveringstiden. Mätningar vid en mängd deponier i olika länder har visat på en halveringstid som varierat mellan 4 och 14 år.<sup>113</sup> I nationella beräkningar av metanläckage från deponier i Sverige uppskattas halveringstiden vara 7,5 år.<sup>114</sup>

För Atleverket är halveringstiden vald till 7,5 år för alla avfallskategorier, vilket förutsätter att nedbrytningen av ett material är beroende av omgivande material. En alternativ metod är att ge varje avfallskategori en egen halveringstid, vilket i stället förutsätter att nedbrytningen av ett material är oberoende av omgivande material. Enligt IPCC fanns det år 2006 ännu inga utredningar som visar på att den ena metoden är bättre än den andra.

### **Andel av DOC som nedbryts i anaeroba förhållanden (DOCf)**

Standardvärde för DOCf är 0,77 i IPCC-modellen. På grund av lägre temperaturer i Svenska deponier jämfört med genomsnittet så sätts DOCf till 0,70.<sup>115</sup>

### **Metankorrektionsfaktor (MCF)**

Hur avfallet tas emot och hanteras vid deponeringen påverkar förutsättningar för metanbildning. Ett grunt avfallsupplag som inte övertäcks har stor inströmning av syre vilket hämmar den anaeroba process som resulterar i metan. Dessa typer av avfallsupplag är vanligast i utvecklingsländer där avfallet läggs på hög utan förbehandling eller sluttäckning.<sup>116</sup> Metankorrektionsfaktorn för dessa deponier ges ett lågt värde så som 0.4. Deponier med större höjd/djup, där avfallet kompakteras och/eller sluttäcks utgör en syrefattig miljö och är därmed den mest fördelaktiga för metanbildning. Metankorrektionsfaktorn för dessa typer av deponier ges ett värde på 1.<sup>117</sup> Eftersom avfallet på Atleverket kompakteras och deponidjupet är över 15 m så sätts värdet på denna parameter till 1.

### **Metanhalt i producerad deponigas (F)**

Vid de flesta avfallsupplag med gasutvinning i regionen mäts metanhalten i den insamlade gasen. Utifrån dessa mätvärden erhålles medelvärden på metanhalten för respektive år i modellen. Då mätvärden saknas och vid prognos av framtida gasproduktion är det vanligt att anta att metanhalten är runt 50 %, vid nationella beräkningar används detta värde för all deponigas, alla år. I modellen för Atleverket har faktiska mätvärden fram till 2008 använts, dessa har legat på 47-50 %. För efterföljande år har metanhalten antagits vara 48 %.<sup>118</sup>

## **9.4 Resultat**

Modellen implementeras med hjälp av Microsoft Excel. Där fylls data i för deponins avfallsmängder i respektive kategori, för respektive år. Det visar andelen av avfallets anaerobiskt nedbrytbara, organiska kol som finns i deponin för varje år. Det innefattar både det som finns kvar sedan tidigare år och det som deponerats aktuellt år. Med dessa

---

<sup>113</sup> Börjesson et. al. (2009)

<sup>114</sup> Adolfsson, Rolf (2005)

<sup>115</sup> Börjesson et al. (2009).

<sup>116</sup> Szudi, Mikael. SCB (2010)

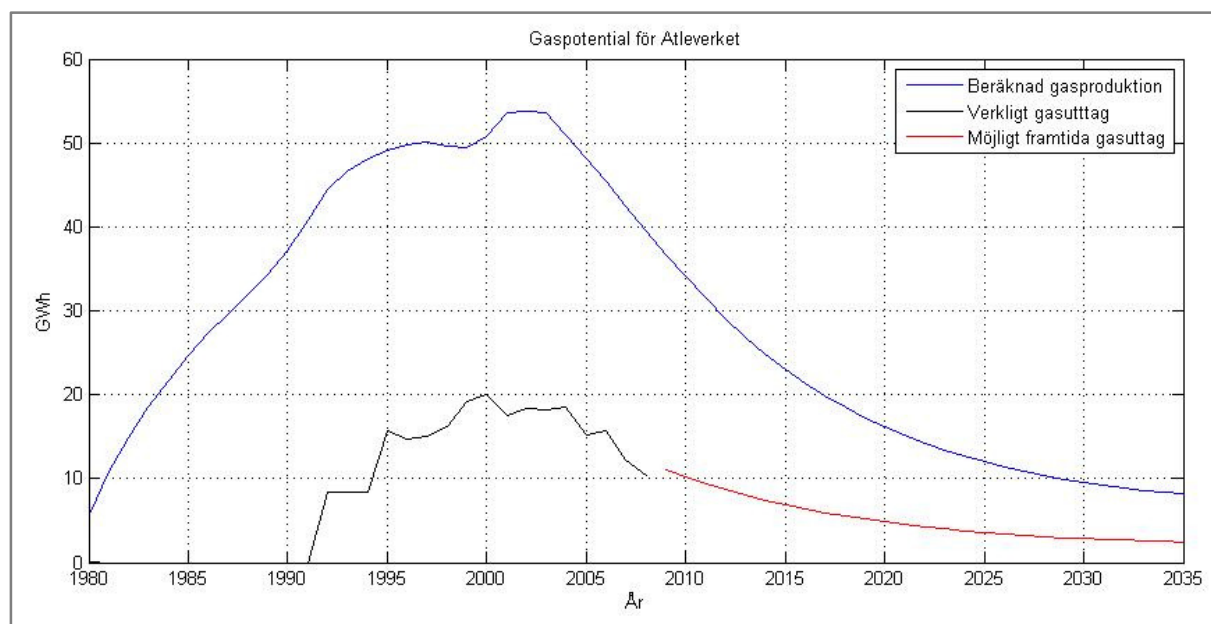
<sup>117</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volym 5, kapitel 3, s.14.

<sup>118</sup> Karlsson, Karin. Utredningsingenjör, Atleverket. (2010)

indata och med parametervärden enligt ovan beräknas mängden metan som bildas från nedbrutet avfall under respektive år.

Implementeringen av modellen på deponin vid Atleverket resulterar i en beräknad metanbildning enligt figur 24. Uppskattningen visar att metanproduktionen från deponin successivt ökade fram till år 2003 och då uppnådde maximal potential på nästan 54 GWh/år. Efter 2003 beräknas metanbildningen ha sjunkit till 34 GWh för innevarande år (2010) och förväntas avta ned till drygt 8 GWh för år 2035.

Differensen mellan beräknad metangasproduktion och det verkliga uttaget av metangas påvisar gasuttageffektiviteten. Uppgifter om mängden deponigas som har utvunnits från deponin vid Atleverket har förts in i diagrammet i figur 24. Sedan gasutvinningen tog i drift på Atleverket har gasuttageffektiviteten enligt modellen varierat mellan 18-39 % med ett medelvärde på 30 %. Med utgångspunkten att framtida uttagseffektivitet vid Atleverket kommer vara 30 % ges en prognos för möjligt metangasuttag. Prognosen ses i figur 24 nedan och visar ett troligt gasuttag motsvarande 5,4 GWh år 2020 och 2,9 GWh år 2035.



Figur 24: Uppskattad gaspotential vid Atleverket

## 9.5 Utvärdering av IPCC-modellen

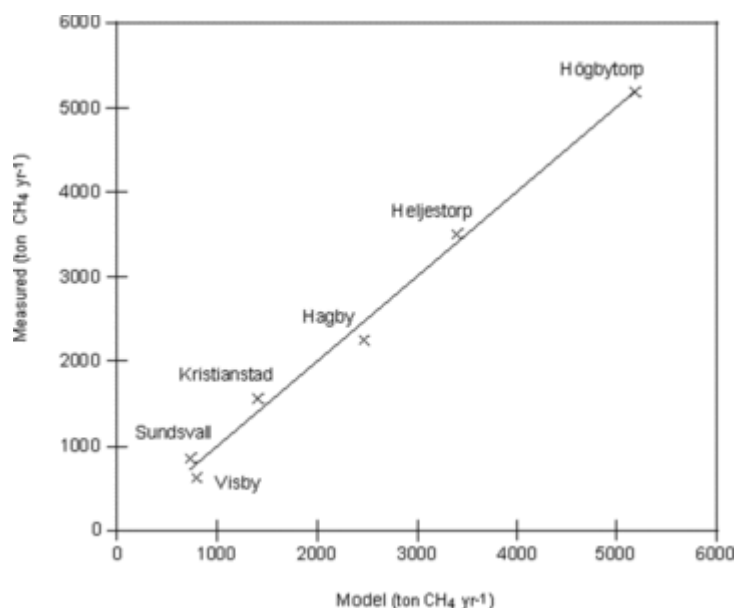
Modellen som används för prognos av Atleverkets metanproduktion är utformad efter IPCCs riktlinjer från 2006. Det är en uppdaterad version av en IPCC-modell från 2001. Fördelen med den senare versionen är att den ger en matematisk mer korrekt beskrivning av nedbrytningsförloppet.<sup>119</sup> Nackdelen är att det fortfarande saknas utvärderingar av modellen från 2006.<sup>120</sup> Här nedan presenteras istället resultaten av två olika studier som jämfört mätningar av metanproduktion med beräkningar med den tidigare versionen av IPCC-modellen. Den ena utgörs av *A national landfill methane budget for Sweden based on field*

<sup>119</sup> 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volym 5, kapitel 3A1.6.

<sup>120</sup> Börjesson, Gunnar (2010)



measurements, and an evaluation of IPCC models, av Börjesson et al. 2009. Mätningar vid ett antal deponier jämfördes då med beräknade värden och resultatet ses i figur 25 nedan.



Figur 25: Jämförelse mellan uppmätt och modellerad metanproduktion (Börjesson et al. 2009)

Den andra utvärderingen är gjord av Rolf Adolfsson, Statistiska Centralbyrån, och publicerades 2005 i *Slutrapport för STEM projekt nr P10856-4 "Metan från avfallsupplag i Sverige"*. Resultatet av jämförelsen mellan uppmätt metanproduktion och värden som beräknades med IPCC-modellen redovisas i tabell 10.

Tabell 10: Jämförelse mellan uppmätt och modellerad metanproduktion (Adolfsson, Rolf 2005)

Deponi	Genomsnittligt deponerat DOC	Uppmätt metanproduktion	Modell-beräknad metanproduktion	Skillnad mellan modell och mätning
Filborna/Helsingborg	24949	11178	9091	-19%
Högbytorp/Upplands-Bro	18849	4730	6869	45%
Blåberget/Sundsvall	4867	858	1774	107%
Visby	2874	683	1047	53%
Hagby/Täby	8550	2085	3115	49%
Heljestorp/Vänersborg	7712	3504	2810	-20%
Härslövs Ängar/Kristianstad	5695	1559	2075	33%
Falköping	925	446,76	337	-25%
TOTALT	74421	25044	27119	8%

En av diskussionerna kring IPCC-modellen har handlat om osäkerheten i avfallets halveringstid. Att studier visar en variation i halveringstider mellan 4 och 14 år tyder antingen på att lokala förutsättningar starkt påverkar denna parameter eller att osäkerheten i uppskattningen är stor. För att få en bild av hur denna parameter påverkar resultatet för Atleverket har ovanstående prognos jämförts med två andra scenarier; för en halveringstid på 4 respektive 14 år, se tabell 11.

Tabell 11: Halveringstidens inverkan på resultatet

<i>Halveringstid</i>	<i>Producerad metangas år 2020 (GWb)</i>
4	10,3
7,5	17,8
14	23,3

Tidigare tillämpningar av IPCC-modellen och jämförelser med mätvärden har visat på en långsammare faktisk avklingning än vad prognoserna antytt. I en studie som redovisas av Lagerkvist et al. (1997) mättes metanproduktionen i 12 ”testceller” med organiskt avfall vid tre olika deponier i Sverige. Efter fem år hade ingen signifikant minskning i metanproduktionen uppmätts i någon av testcellerna. En liknande studie av sex testceller i England, redovisad i en rapport av Caine et al. (1999) visade ingen minskning av metanproduktionen efter åtta år.<sup>121</sup>

---

<sup>121</sup> Börjesson et al. (2009)

## 10 Diskussion

I följande avsnitt tolkas undersökningens resultat för att uppskatta potentialen för produktion av fordonsgas från deponier i regionen. Därefter presenteras olika möjligheter för att utnyttja största möjliga del av potentialen. För- och nackdelarna med de olika möjligheterna diskuteras och slutligen ges förslag på fortsatta studier inom ämnet.

### 10.1 Enskild eller gemensam uppgradering

Om det redan finns biogasanläggningar i närheten av en deponi kan det vara intressant att utreda möjligheten att uppgradera deponigas tillsammans med biogas från annan källa. Häradsuddens avfallsanläggning har sådana planer, vilket beskrevs i avsnitt 8.8. I det fallet är kryoteknisk uppgradering av deponigas tänkt att ske tillsammans med rötgas i en biogasanläggning som kan komma att byggas av Norrköpings kommun.

Många av de stora avfallsanläggningarna har en rötningsanläggning på plats för behandling av organiskt material. En rötningsanläggning innebär en mer säker produktion av biogas än vad deponin själv utgör. Det kan därför vara mer motiverat att investera i en uppgraderingsanläggning där rötgas finns tillgängligt än om endast deponigas ska uppgraderas. Finns det redan en befintlig uppgraderingsanläggning för rötgas i närheten av deponin kan det vara intressant att utreda möjligheten att behandla deponigasen där. Deponigas innehåller dock fler föroreningar än rötgas och kan därför kräva en mer omfattande reningsprocess. Om deponigasen innehåller en stor andel kväve (vilket ofta är fallet) krävs dessutom ett uppgraderingssystem som innefattar kväveavskiljning. Enligt en utredning från SGC, *Deponigas som fordonsbränsle*, är det därför ofta bättre att uppgradera rötgas och deponigas separat.<sup>122</sup>

I de fall en enskild deponi inte kommer upp till det deponigasflöde som krävs för att ett uppgraderingsprojekt ska vara ekonomiskt intressant (se kapitel 7.1) kan det vara intressant att utreda möjligheten till en gemensam uppgraderingsanläggning för flera deponier. På så sätt skulle en uppgraderingsanläggning kunna göras mer storskalig och sänka investeringskostnaden i förhållande till dess kapacitet. Det förutsätter dock att det är värt att transportera rågas från deponierna till platsen för uppgradering. Eftersom en deponi utgör en avtagande gaskälla (som visas med prognosen i kapitel 9) är det tveksamt om det är värt att anlägga gasledningar och investera i infrastruktur för distribution av deponigas.

Ett alternativ till transport via rörledning är att flaka rågas men det inte är helt problemfritt. Enligt LRF har en förstudie från Kristianstad visat att det kan uppstå problem med att koldioxid i rågasen beter sig annorlunda än metan vid komprimering.<sup>123</sup> Transport av deponigas till en gemensam uppgraderingsanläggning kan alltså inte rekommenderas varken med flakning eller med anläggning av gasledning. Såvida det inte redan finns en gasledning mellan deponierna i fråga är det därmed inte aktuellt med en gemensam uppgraderingsanläggning. Den följande uppskattningen av regionens potential utreder därför möjligheten att avfallsanläggningarna uppgraderar deponigas i enskilda anläggningar.

---

<sup>122</sup> Benjaminson et al. (2010)

<sup>123</sup> *Biogas på gården – en introduktion*. LRF

## 10.2 Tillgänglig deponigas

Kartläggningen av regionens deponier med gasutvinning som sammanfattades i tabell 5 visar på en total mängd insamlad deponigas under 2008 på ca 32 miljoner Nm<sup>3</sup>. Utifrån årsmedelvärdet på metanhalt från respektive deponi uppskattas mängden ren metangas till ca 15,4 miljoner Nm<sup>3</sup>.

Som framkom av IPCC-modellens tillämpning på deponin vid Atleverket i kapitel 9 så varierar gasutvinningen från år till år och påverkas starkt av installation av nya gasbrunnar. Modellen visar också hur gasproduktionen vid Atleverket kommer avta på sikt, ett avtagande som kan förväntas från alla deponier i regionen. Det är därför troligt att slutsatser utifrån siffror från 2008 redan innebär en överskattning av dagens potential i regionen. För en säkrare bedömning krävs prognoser över framtida metangasproduktion för samtliga deponier.

Resultatet från IPCC-modellen visar att ca 30 % av den bildade metangasen utvanns ur deponin vid Atleverket. En tidigare studie av sju deponier i Sverige visade gasuttageeffektiviteter som varierade mellan 14-78 % med ett medelvärde på 54 %.<sup>124</sup> Den beräknade uttagseffektiviteten från deponin vid Älfsnes uppges vara 70-80 %.<sup>125</sup> Det kan alltså vara möjligt att Biogas Öst-regionen har potential till att utvinna en större andel av den metangas som bildas i deponierna än vad som utvinns idag. Om utvinningssystemen byggs ut och uttorkning av deponin undviks då den sluttäcks kan utvinningen fortsätta på nuvarande nivå i minst 10 år framåt.<sup>126</sup>

### 10.2.1 Teknisk potential för uppgradering

Metoder för rening och uppgradering av deponigas som beskrivs i kapitel 3 och 4 visar de tekniska möjligheterna att producera fordonsgas från deponier. Fallstudierna av fungerande uppgradering av deponigas utomlands demonstrerar att metoderna är tillförlitliga. Driftstopp för service av en uppgraderingsanläggning beräknas vara totalt 6-7 dygn per år vilket innebär en tillgänglighet på ca 98 %.<sup>127</sup> Metanförluster vid uppgraderingsprocessen kan med kryoteknik begränsas till 1,4 %.<sup>128</sup> Utan hänsyn till ytterligare begränsningar och med utgångspunkt från den tillgängliga mängden deponigas som utvanns 2008 uppskattas den tekniska potentialen för produktion av fordonsgas från deponier i regionen vara ca 15 miljoner Nm<sup>3</sup> fordonsgas, se tabell 12.

Tabell 12: Uppskattning av teknisk potential för uppgradering

<i>Tekniskt möjlig uppgradering</i>	<i>Gasvolym (Nm<sup>3</sup>/år)</i>
Tillgänglig metangas	15 395 974
Med metanförlust (1,4 %)	14 764 739
Anläggningens tillgänglighet (98 %)	14 501 806
Fordonsgas (97 % metan)	<b>14 950 315</b>

<sup>124</sup> Börjesson, Gunnar et al. (2009)

<sup>125</sup> H. Halldórsson, Björn (2010)

<sup>126</sup> Benjaminson et al. (2010)

<sup>127</sup> Kättström, Hans (2010)

<sup>128</sup> Johansson, Tomas (2010)

I en utredning av Biogas Öst-regionens efterfrågan på fordonsgas framkom att en personbil som drivs på biogas förbrukar i genomsnitt 1 162 Nm<sup>3</sup>/år och att en biogasbuss förbrukar 32 385 Nm<sup>3</sup>/år.<sup>129</sup> För den tekniska potentialen i regionen innebär det möjlighet att driva 12 866 personbilar eller 461 bussar med fordonsgas från deponier i regionen.

Med utgångspunkt från den totala mängden deponigas som utvanns i regionen år 2008, uppgradering med 1,4 % metanförluster och en anläggning med 98 % tillgänglighet uppskattas den tekniska potentialen för produktion av fordonsgas vara:

15,0 miljoner Nm<sup>3</sup>/år

### 10.2.2 Ekonomiska begränsningar

De största begränsningarna för hur mycket av regionens deponigas som kan användas till fordonsbränsle är av ekonomisk karaktär. Som framkom i avsnitt 7.1 finns inga tekniska hinder för uppgradering av deponigas i liten skala men storskaliga projekt är mer ekonomiskt fördelaktiga. Det är dock svårt att dra en generell gräns för vilket flöde som krävs för att uppgradering ska vara ekonomiskt intressant, riktvärden för årlig deponigasutvinning varierar från 1,05 till 17,5 miljoner Nm<sup>3</sup>. Som framkom i intervjuer av driftansvariga av deponier i regionen så har två avfallsanläggningar planer på att uppgradera deponigas med kryoteknik. De aktuella avfallsanläggningarna hade en gasutvinning på 3 169 330 Nm<sup>3</sup> respektive 2 348 600 Nm<sup>3</sup> år 2008. Det kan visa att ett gasflöde i den storleken är tillräckligt för att en investering i uppgraderingsanläggning ska vara intressant.

Häradsuddens avfallsanläggning är den med minst gasutvinning som har planer på uppgradering. Det har tidigare uppstått problem med finansiering av projektet och planerna lades då på is. Ett beslut om projektet ska genomföras förväntas tas under sommaren 2010. Fallet visar att en uppgraderingsanläggning inte är en helt enkel investering att räkna hem för ett rågasflöde i Häradsuddens nivå. Mot bakgrund av ovannämnda uppgifter utgår följande uppskattning från att en gasutvinning mindre än 2 miljoner Nm<sup>3</sup> utgör en ekonomisk begränsning för potentiell uppgradering.

Sju av regionens avfallsanläggningar utvann över 2 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas under 2008. Tillsammans utvann de 25,5 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas. Tar man hänsyn till de tekniska begränsningar som diskuteras i föregående avsnitt innebär det en möjlig produktion av fordonsgas på 12,2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år vilket kan driva 10 506 personbilar eller 377 bussar med fordonsgas från deponier i regionen.

Med den mängden deponigas som utvanns i regionen år 2008 som utgångspunkt och antagandet att en minsta produktion på 2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år är ekonomiskt intressant att uppgradera, uppskattas regionens potential för produktion av fordonsgas till:

12,2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år

<sup>129</sup> Jonerholm et al. (2010)

För att produktion av fordonsgas ska vara ekonomiskt intressant måste det även finnas avsättning inom rimligt avstånd från deponin. Lokaliseringen av deponier och tankstationer för fordonsgas visar att 16 av regionens 18 deponier med gasutvinning ligger inom riktvärdet på fem mil från en möjlig avsättning för fordonsgas. Att det idag sker flakning av fordonsgas från Örebro till Stockholm visar dock att det under rådande omständigheter är attraktivt att transportera fordonsgas längre sträckor än så. Möjlighet till avsättning för fordonsgas innebär alltså ingen ytterligare begränsning för vilka deponier som har potential för produktion av fordonsgas.

Avfallsanläggningarnas lokala förutsättningar är avgörande för om ett uppgraderingsprojekt är rimligt att genomföra, enligt resonemanget i avsnitt 7.3. Till exempel är det mindre troligt att deponigasen kommer att uppgraderas om den i dagsläget säljs för fjärrvärmeproduktion än om den används för internt bruk. Vid intervjuer med driftansvariga för de åtta deponierna med störst gasutvinning framkom att tre inte har något intresse för en alternativ användning av deponigasen. Utesluts de avfallsanläggningar som själva inte bedömer sig ha potential för produktion av fordonsgas återstår fem avfallsanläggningar som tillsammans utvann 16,2 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas 2008. Med hänsyn till de begränsningar som diskuterats ovan har de en sammanlagd potentiell produktion av fordonsgas på 8,2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år vilket skulle kunna driva över 7 000 personbilar eller 250 bussar.

Baserat på mängden deponigas som utvanns år 2008 från de avfallsanläggningar som visat intresse för uppgradering uppskattas regionens potential för produktion av fordonsgas till:

8,2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år

## 10.3 Möjligheter till utnyttjande av potentialen

### 10.3.1 Förändrad utvinningsmetod

I kapitel 2 framkom att kvävehalten i deponigas från ett antal svenska deponier i genomsnitt var 18 vol-% men att den lägsta halten som uppmättes var så låg som 4 vol-%. Det är inte självklart att deponigas innehåller en problematiskt hög halt av kväve. Erfarenheter av uppgradering av deponigas till fordonsgas utanför Sverige visar att det är möjligt att reglera gasutvinningen för ett minimalt inläckage av luft. Systemlösningarna på Island och i USA som redovisas i kapitel 5 är konkreta exempel på att det på så sätt går att uppgradera deponigas till fordonsgas utan att tillämpa kväveavskiljning.

Det är svårt att förutspå vilken ändring i metanhalt och insamlad volym som en förändrad utvinningsmetod resulterar i och hur mycket fordonsgas det då kan ge upphov till. Klart är emellertid att en gasutvinning som tillämpas på Island och i USA gör det möjligt att uppgradera deponigasen utan den kostsamma kväveavskiljningen. Genom att förändra gasutvinningen kan därför fler av regionens deponier ha potential för produktion av fordonsgas.

Deponeringsförordningen kräver insamling av deponigas men uttrycker inga specifika krav på andelen metangas som ska samlas in (se avsnitt 2.1). Detta ger alltså utrymme för att anpassa utvinningen för produktion av fordonsgas, även om det slutgiltiga förfarandet för insamling av deponigas måste godkännas av aktuell tillsynsmyndighet.<sup>130</sup>

Generellt verkar det som att planerad uppgradering i Sverige har en annan utgångspunkt än befintlig uppgradering utomlands. Leverantörer och driftansvariga av uppgraderingsanläggningar utomlands menar att första steget för en lyckad produktion av fordonsgas från deponigas är att förhindra inläckage av luft (och därmed kväve) till deponigasen. I Sverige verkar utgångspunkten vara att deponigas oundvikligen innehåller kväve och att uppgraderingssystem därför måste innefatta kväveavskiljning. De olika utgångspunkterna kan grunda sig i det som anses vara huvudsyftet med gasutvinningen.

Lilla Nyby Återvinningscentral till exempel anger i sin miljörapport att målet för gasutvinningen är att erhålla minsta möjliga metanläckage från deponin. Det är därför tveksamt om detta mål kan frångås till förmån för en anpassad utvinning för produktion av fordonsgas. Naturvårdsverket råder avfallsanläggningarna till att optimera deponigasutvinningen för att ha en hög insamlingsgrad av producerad metan och därmed minska deponins miljöpåverkan.<sup>131</sup> Gasutvinningen från deponin vid Älfsnes optimeras istället för att utvinna så mycket som möjligt till minsta möjliga kostnad. Där ifrågasätts kostanden som varje extra insamlad procent av den producerade metangasen innebär. Dessutom anses nyttan av att använda metan som bränsle överväga skadan av ett eventuellt större metanläckage från deponin.<sup>132</sup>

### 10.3.2 Fordonsgas med lägre metanhalt

För att uppfylla svensk standard på 97 % metan för fordonsgas måste deponigas uppgraderas, där kväveavskiljningen innebär den största kostnaden. Det beror på att det kräver extra reningsutrustning och ofta medför metanförluster. Billigare fordonsgas skulle kunna framställas om man tillät en lägre metanhalt och därmed minskade behovet av kväveavskiljning.

Det är tekniskt möjligt att använda gas med en metanhalt mellan 50-100% till fordonsbränsle. Vid förbränning i en motor utan lambdareglering kan dock utsläppen av koldioxid och kväveoxider bli höga om bränslets sammansättning varierar. För att optimera driften och minimera utsläpp så bör därför bränslet hålla en konstant sammansättning. Så länge motorn är anpassad för en mindre metanhalt går det dock att behålla en bra motordrift. Moderna motorer är dessutom oftast utrustade med styrsystem som kan kompensera för små variationer i bränslekvalitén.

För att inte begränsa fordonens räckvidd kan det dock vara olämpligt att frångå standarden på publika tankställen. Enligt Anneli Peterson kan det vara förvirrande för konsumenterna med fler olika klasser av fordonsgas.<sup>133</sup> Ytterligare en nackdel kan vara naturgas med ett

---

<sup>130</sup> Nygren, Erika (2010)

<sup>131</sup> Naturvårdsverket (2004)

<sup>132</sup> H. Halldórsson, Björn (2010)

<sup>133</sup> Peterson, Annelie (2010)

högre energiinnehåll då konkurrerar med biogas istället för att utgöra ett säkerhetslager.<sup>134</sup> Nämnda argument talar för att det inte är lämpligt att frångå svensk standard vid publika tankställen. Däremot kan det vara fördelaktigt att uppgradera deponigasen till fordonsgas med lägre metanhalt om den bara används till en lokal bussflotta eller för att driva sopbilarna som samlar in avfall till anläggningen.

### 10.3.3 Mobila uppgraderingsanläggningar

För att komma runt hinder för investering i uppgraderingsanläggning på grund av det sinande rågasflödet kan mobila uppgraderingsanläggningar vara en möjlighet. Om anläggningen går att flytta till en ny plats när gasproduktionen i deponin sinat så kan investeringen tillåtas ha en längre återbetalningstid.

Prometheus Energy Company har designat en container-baserad uppgraderingsanläggning. En pilotanläggning bestående av flera sammankopplade moduler är sedan 2006 i drift i USA på deponin *Frank R. Bowerman Landfill*.<sup>135</sup> Uppgraderingen gjordes till en början med kryoteknik men på grund av problem med bildning av torr-is ansågs den inte redo för större gasflöde och sista uppgraderingssteget byttes därför ut till PSA.<sup>136</sup>

Utformningen med container-baserade moduler är tänkt att göra det lätt att transportera färdigkonstruerade delar av en uppgraderingsanläggning för snabb installation på plats. Syftet är inte att senare montera isär modulerna för återinstallation på ny plats, men det kan vara en möjlighet. Det bör dock understrykas att även om container-utformningen gör att modulerna är smidiga att flytta var för sig så rör det sig om ett omfattande arbete att flytta en hel anläggning. Modulerna på Bowerman Landfill upptar tillsammans en yta på ca 800 kvadratmeter.<sup>137</sup>

Även Scandinavian GtS uppgraderingsanläggningar byggs utifrån mobila ”lådor” som byggs färdigt i fabrik. Dessa ställs på betongplatta, kopplas ihop och installeras vid deponin. Om anläggningen behöver flyttas kopplas media och rör isär, utrustningen transportsäkras och kan sedan lyftas bort.<sup>138</sup>

---

<sup>134</sup> Pierce, Jeffrey L. (2007)

<sup>135</sup> Clarkson, Dan (2007)

<sup>136</sup> Öhman, Anna (2009)

<sup>137</sup> Clarkson, Dan (2007)

<sup>138</sup> Kättström, Hans (2010)



## 10.4 Förslag på fortsatta studier

För att säkert avgöra om en avfallsanläggning har potential för lönsam uppgradering av deponigas till fordonsgas bör en djupare undersökning för det specifika fallet göras. De lokala förutsättningarna måste undersökas närmre och en prognos över den framtida metangasproduktionen bör göras exempelvis med hjälp av IPCC-modellen.

Ett intressant område att studera närmre är metoder för insamling av deponigas och reglering av gasutvinningen. Till vilken utsträckning kan man förhindra inläckage av luft till deponigasen för att minimera kvävehalten? Vilken miljöeffekt fås av att reglera uttaget med syfte att minimera kvävehalt istället för att maximera andelen insamlad metangas? Hur stor är denna miljöpåverkan i jämförelse med fördelarna av att kunna ersätta fossila bränslen i transportsektorn med fordonsgas från deponier?

## 11 Slutsatser och rekommendationer

Avfallsanläggningarna med gasutvinning i Biogas Öst-regionen samlade totalt in ca 32 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas år 2008. Från den mängden deponigas är det rent tekniskt möjligt att producera ca 15 miljoner Nm<sup>3</sup> fordonsgas motsvarande ca 16 miljoner liter bensen. Om utvinningssystemen byggs ut och uttorkning av deponin undviks då den sluttäcks kan utvinningen fortsätta på nuvarande nivå i tio år framåt.<sup>139</sup> Men på grund av att organiskt avfall inte längre deponeras avtar produktionen av metangas och deponierna utgör ingen långsiktig källa till fordonsgas.

Hur mycket av regionens tillgängliga deponigas som är möjlig att uppgradera till fordonsgas begränsas främst av ekonomiska faktorer. För att en uppgradering vid en avfallsanläggning ska vara ekonomiskt krävs att gasutvinningen från den enskilda deponin är tillräckligt stor. Det är svårt att fastställa en generell gräns för *hur* stor den bör vara men det antas att en gasutvinning mindre än 2 miljoner Nm<sup>3</sup> utgör en ekonomisk begränsning för potentiell uppgradering. Sju av avfallsanläggningarna i regionen utvann över 2 miljoner Nm<sup>3</sup> deponigas under 2008. Intervjuer av driftansvariga för deponierna visade att en förändring av nuvarande gasanvändning och uppgradering av deponigas är ointressant vid tre av dessa. Resterande avfallsanläggningar har tillsammans teknisk potential för en produktion av fordonsgas på 8,2 miljoner Nm<sup>3</sup>/år. Det innebär att över 7 000 personbilar eller 250 bussar kan drivas med fordonsgas från deponier i Biogas Öst-regionen.

Resultatet av uppskattningen av regionens potential med olika utgångspunkter och med undersökta begränsningar sammanfattas i tabell 13.

Tabell 13: Sammanfattade uppskattning av regionens potential

<i>Utgångspunkt</i>	<i>Fordonsgas (miljoner Nm<sup>3</sup> / år)</i>	<i>Antal personbilar (1 162 Nm<sup>3</sup> / år)</i>	<i>Antal bussar (32 385 Nm<sup>3</sup> / år)</i>
Tekniskt möjligt	15,0	12 886	462
Ekonomiskt genomförbart	12,2	10 506	377
Intressant alternativ till nuvarande gasanvändning	8,2	7 062	253

De ekonomiska begränsningarna för uppgradering av deponigas kan till viss del övervinnas om kväveavskiljning kan undvikas vid uppgradering av deponigas till fordonsgas. Utomlands finns flera exempel på produktion av fordonsgas från deponigas med vattenskrubber och membranteknik, system som inte innefattar kväveavskiljning.

Med den kvävehalt som uppmäts från regionens avfallsanläggningar är det inte möjligt att uppnå gaskvalité som uppfyller svensk standard för fordonsgas utan kväveavskiljning. Tekniskt sett är det möjligt att använda en fordonsgas med metanhalt ned till 50 %, och detta värde kan med god marginal överskridas för deponigas utan kväveavskiljning. Flera argument talar dock för att en lägre standard för fordonsgas inte gynnar biogasens

<sup>139</sup> Benjaminson et al. (2010)

utveckling som drivmedel i stort, och därför är det inte en önskvärd lösning för publika tankställen. Däremot kan det vara fördelaktigt att frånga standarden om deponigasen bara används av en lokal bussflotta eller till sopbilarna som samlar in avfall till anläggningen.

En annan möjlighet för att undvika kväveavskiljningssteget är att förändra metoden för utvinning av deponigas på liknande sätt som förekommer utomlands. Exempel från Island och USA visar att det går att förhindra inläckage av luft (och därmed kväve) till deponigasen. Till exempel kan trycket på gasbrunnarna regleras i syfte att minimera syrehalten eller så används bara brunnar från mitten av deponins till uppgradering. Med en förändrad gasutvinning möjliggörs en billigare uppgradering och fler av regionens deponier får då potential för produktion av fordonsgas.

Om gasutvinningen sker med lägre undertryck i deponin kan alltså inläckage av luft till deponin undvikas men det leder även till att mer metan från deponin läcker ut till atmosfären. De negativa miljöeffekterna av detta måste vägas mot fördelarna av att kunna ersätta fossila bränslen i transportsektorn med fordonsgas från deponier. Undersökningen har visat att metoden för hur gasen utvinns från deponin på flera sätt är en nyckel till potential för produktion av fordonsgas och det är därför en intressant aspekt som bör studeras närmare.

## 12 Referenser

### 12.1 Skriftliga källor

Adolfsson, Rolf (2005). *Metan från avfallsdeponier: En jämförelse av IPCC:s modell med mätdata*. Bilaga 1 till *Slutrapport för STEM projekt nr P10856-4 "Metan från avfallsupplag i Sverige"*. Statistiska Centralbyrån.

*2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Volym 5, kapitel 3. IPCC (2006). Institute for Global Environmental Strategies.

Benjaminson, Johan, Johansson, Nina & Karlsvärd, Johan (2010). *Deponigas som fordonbränsle – rapport SGC 214*. Svenskt Gastekniskt Center & Grontmij.

Benjaminson, Johan (2006). *Nya renings- och uppgraderingstekniker för biogas*. Linköpings Universitet.

*Biogas från gården – en introduktion*. Broschyr med artikelnummer 42370 från LRF. Tillgänglig: [http://www.lrf.se/PageFiles/5703/Biogas\\_pa\\_garden\\_LR.pdf](http://www.lrf.se/PageFiles/5703/Biogas_pa_garden_LR.pdf) [2010-05-23]

Börjesson et. al. (2009). *A national landfill methane budget for Sweden based on field measurements, and an evaluation of IPCC models*. Tellus, Singapore.

Börjesson, Pål, Tufvesson, Linda & Lantz, Mikael (2010). *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel*. Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för miljö- och energisystem, Lund. ISSN 1102-3651.

Clarkson, Dan (2007). *Fuelling new ideas*. Waste management world. Tillgänglig: <http://www.waste-management-world.com/index/display/article-display/296001/articles/waste-management-world/volume-8/issue-3/features/fuelling-new-ideas.html> [2010-05-27]

*Den naturliga vägen – Information om återvinning och Lilla Nyby Återvinningscentral*. Eskilstuna Energi och Miljö. Tillgänglig: <http://www.eem.se/atlas/file.php?id=3027> [2010-03-22]

*Deponering av avfall - Handbok 2004:2 med allmänna råd till förordningen (2001:512) om deponering av avfall och till 15 kap. 34 § miljöbalken (1998:808)*. Naturvårdsverket (2004). ISSN 1650-2361

Edström et al. (2008). *Gårdsbaserad biogasproduktion – System, ekonomi och klimatpåverkan*. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. ISSN 1401-4955.

*Energüinnehall*. Energigas Sverige (2010). Tillgänglig: <http://www.biogasportalen.se/FranRavaraTillAnvandning/VadArBiogas/Energüinnehall.aspx> [2010-05-27]

*Fordonsgasutvecklingen i Sverige*. Energigas Sverige (2010). Tillgänglig: <http://www.gasbilen.se/Klimatet/FordonsgasISiffror/fordonsgas.aspx> [2010-05-17]

- Forsberg, Jonas (2009). *Biogasens expansion i östra Mellansverige - Identifiering av potentiella biogashotsplats*. Biogas Öst & Uppsala Universitet, Uppsala. ISSN 1650-8319.
- Från sopor till ren energi*. Södertörns Fjärrvärme (2008) Artikel i I Röret - kundtidning från Södertörns fjärrvärme, nr 2, 2008.
- Gåverud, Henrik, Lundgren, Jens & Glimhall, Alexandra (2009). *EI R2009:12 Ökad andel biogas på en utvecklad gasmarknad- Analys över förutsättningarna för och förslag till en ökad andel biogas på den svenska marknaden*. Energimarknadsinspektionen, Eskilstuna.
- Hagen, Martin, Polman, Erik, Jensen, K., Jan, Myken, Asger, Jönsson, Owe, & Anders Dahl (2001), *Adding gas from biomass to the gasgrid*, Swedish Gas Center, rapport SGC 118, Malmö. ISSN 1102-7371
- Held, Jörgen, Mathiasson, Anders & Anders Nylander (2008). *Biogas ur gödsel, avfall och restprodukter - goda svenska exempel*. Svenskt Gastekniskt Center, Svenska Gasföreningen & Svenska Biogasföreningen, Stockholm.
- Isacsson, Annica & Szudy, Mikael (2000). *Nationellt datavärdschap för avfall – Förstudie*. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.scb.se/statistik/MI/MI1102/2003M00/mi1102.pdf> [2010-02-22]
- Jonerholm et al. (2010). *Utbud och Efterfrågan på Fordonsgas i Biogas Öst Regionen*. Biogas Öst och Sweco, Stockholm.
- Membrane technology*. Grasys – Gas Separation Systems (2010). Tillgänglig: <http://www.grasys.com/technologies/membrane/> [2010-05-24]
- Miljörapport 2008 Textdel Gryta avfallsanläggning Västerås kommun 1980-60-001*. VafabMiljö (2008).
- Miljörapport år 2008 för avfallsanläggningen Lilla Nyby*. Eskilstuna Energi & Miljö (2010).
- Miljörapport för Atleverket 2008*. Tekniska Förvaltningen Örebro (2010).
- Miljörapport för år 2008 Högbys torps avfallsanläggning*. Ragn-Sells Avfallsbehandling AB (2009).
- Miljörapport år 2008, Koviks Återvinningsanläggning*. SITA Sverige AB (2009).
- Miljörapport 2008 för Econova Biotech ABs verksamhet på Häradsuddens avfallsanläggning i Norrköpings kommun*. Econova Biotech AB (2009)
- Miljörapport Sofielunds Återvinningsanläggning 2008*. SRV Återvinning (2009).
- Persson et al. (2007). *Report on Technological Applicability of Existing Biogas Upgrading Processes*. Europeiska kommissionen, Biogasmax.
- Persson, Margareta (2003). *Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas*. Svenskt Gastekniskt Center, rapport nr 142, 2003. ISSN 1102-7371.

- Persson, Margareta & Wellinger, Arthur (2006). *Biogas upgrading and utilization*. IEA Bioenergy.
- Petersson, Anneli & Wellinger, Arthur (2009). *Biogas upgrading technologies – developments and innovations*. IEA Bioenergy, task 37 – Energy from biogas and landfill gas.
- Pierce L. Jeffrey (2007). *Landfill gas to vehicle fuel: assesment of its technical and economic feasibility*. SCS Energy, Long Beach, California.
- Produktion och användning av biogas år 2008*, ES2010:01. Energimyndigheten (2010). ISSN 1654-7543
- Ragn-Sells Miljöredovisning 2008*. Ragn-Sells (2009). Ödeshög.
- Stockholm/Högbymtorp*. Ragn-Sells (2010). Tillgänglig: <http://www.ragnsells.se/Vad-vi-gor/Nagra-av-vara-anlaggningar/StockholmHogbymtorp/> [2010-06-14]
- Svensk Växtkraft AB Årsredovisning 2005*. VafabMiljö (2006). Västerås.
- Shakhashiri (2008). *Chemical of the Week - Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>*. Tillgänglig: <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/CarbonDioxide.pdf> [2010-06-07]
- Så fungerar en gasbil*. Miljöfordon.se (2009) Tillgänglig: <http://www.miljofordon.se/fordon/sa-fungerar-miljobilar/sa-fungerar-gasbil.aspx> [2010-06-14]
- Thedén, Karin (2007). *Gaspotentialen i en deponi, idag och i en framtid*. Sveriges Lantbruksuniversitet och Örebro kommun.
- Telge Återvinning Miljörapport 2008*. Telge Återvinning (2009).
- Årsredovisning och koncernredovisning för räkenskapsåret 2008-01-01 - 2008-12-31*. Telge Återvinning AB (2009).
- Öhman, Anna (2009). *Kryotekniskt behandlad flytande biogas – En utvärdering med utgångspunkt i Stockholm*. Lunds Universitet. ISSN 0282-1990

## 12.2 Muntliga källor

- Asplund, Malin. Avdelningschef deponi, Econova AB. Telefon- och mailkontakt våren 2010.
- Benjaminsson, Johan. Projektledare, Grontmij. Telefon- och mailkontakt våren 2010 samt personligt möte 2010-04-14.
- Börjesson, Gunnar. Forskare inom mikrobiologi, SLU. Personligt möte 2010-02-02.
- Dahlqvist, Peter. Norrtälje kommun, kontaktperson Björkholmens Avfallsanläggning. Mailkontakt våren 2010.

Ekman, Michelle. Verksamhetsansvarig Fordonsgas, Energigas Sverige. Telefonsamtal 2010-05-06.

H. Halldórsson, Björn. VD, Metan Ltd och Sorpa bs. Mailkontakt våren 2010.

Johansson, Mikael. Utredningsingenjör/AO Återvinning, Eskilstuna Energi & Miljö AB. Telefonsamtal 2010-04-20

Johansson, Tomas. Business Development Mgr, Terracastus Technologies. Mailkontakt våren 2010 samt telefonsamtal 2010-06-09.

Jonerholm, Katarina. Miljökonsult Stockholm Avfallsteknik, Sweco Environment AB. Mailkontakt 2010-03-09.

Jägerup, Sture. Driftansvarig Sofielunds Återvinningsanläggning, SRV. Telefonsamtal 2010-03-24.

Karlsson, Karin. Utredningsingenjör, Atleverket. Telefonsamtal 2010-02-21.

Kempi, Michael. Atleverket, Tekniska förvaltningen, Örebro kommun. Mailkontakt våren 2010.

Kättström, Hans. VD, Scandinavian GtS. Mailkontakt 2010-05-24.

Lindkvist, Anna. VafabMiljö. Mailkontakt våren 2010.

Mitariten, Michael. Gas Separations and Molecular Gate, Guild Associates, Inc. Mailkontakt 2010-05-04.

Nygren, Erika. Naturvårdsverkets miljörättsavdelning. Telefonsamtal 2010-04-15

Persson, Per-Erik. Avdelningschef Teknik och Miljö, VafabMiljö. Telefonsamtal 2010-03-18.

Petersson, Annelie. SGC. Telefonsamtal 2010-02-12.

Strömberg, Torbjörn. Projektledare, Svensk Växtkraft AB. Telefonsamtal 2010-03-18.

Szudy, Mikael. SCB. Telefonsamtal 2010-06-07.

Svensson, Mattias. Utvecklingsingenjör, SGC. Telefonsamtal 2010-05-06 samt mailkontakt.

Trobell, Kent. Avdelningschef Högbytorp Avfallsanläggning, Ragn-Sells. Telefonsamtal 2010-03-19 samt mailkontakt.

Westerberg, Magdalena. Behandlingsansvaring Koviks Återvinningsanläggning. Telefonsamtal 2010-03-18.







---

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)

---

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000

---